



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

JAAKKO KOSKINEN

RASKAAN JULKISIVUKORJAUKSEN VAIKUTUS BETONIELEMENTTIKERROSTALON ILMAÄÄNENERISTYKSEEN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Ralf Lindberg
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Rakennetun ympäristön tiedekunta-
neuvoston kokouksessa 5. lokakuu-
ta 2011

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

KOSKINEN, JAAKKO: Raskaan julkisivukorjauksen vaikutus betonielementtikerrostalon ilmastäneristykseen

Diplomityö, 106 sivua, 88 liitesivua

Marraskuu 2011

Pääaine: Rakennesuunnittelu

Tarkastajat: Professori Ralf Lindberg, Tekn. lis. Mikko Kylliäinen

Avainsanat: korjausrakentaminen, ilmastäneristys

Raskaan julkisivukorjauksen vaikutusta betonielementtirakenteisen kerrostalon ilmastäneristykseen selvitettiin tarkastelemalla korjauksen vaikutusta julkisivurakenteiden rakennusakustiikkaan vaikuttaviin ominaisuuksiin. Tutkimus rajattiin käsittelemään ainoastaan raskasta julkisivukorjaustapaa, jossa alkuperäisen betonisandwich-elementin ulkokuori puretaan pois ja korvataan uudella julkisivurakenteella. Kyseinen korjaus vaikuttaa arviolta eniten myös rakennusakustiikkaan. Laskennallista tarkastelua varten muodostettiin olevassa olevaa rakennuskantaa kuvaavat laskentaelementit vuosina 1960-1990 voimassa olleiden rakennusmääräyksien, sekä Tampereen teknillisen yliopiston keräämän BeKo -kuntotutkimustietokannan perusteella.

Tutkimuksessa käsitellään kahta eri ilmastäneristykseen liittyvää rakennusakustista ilmiötä, joissa julkisivurakenne on osallisena. Tarkasteltavat ilmiöt ovat huoneistojen välinen ilmastäneristysluku R'_w sekä ulkovaipan äänitasoero ΔL_A . Tutkittavien ilmiöiden laskennallista analyysia varten olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien, jäljelle jäävien sisäkuorien sekä korjauksen jälkeistä tilannetta edustavien rakennetyyppien ilmastäneristyskyky selvitettiin laskemalla. Kaikissa tapauksissa rakenteelle laskettiin ilmastäneristysluku R_w sekä korjaustermit C ja C_{tr} . Laskennan tuloksien perusteella on mahdollista muodostaa käsitys eri rakenteiden ilmastäneristyskyvyn vaihteluvälistä korjauksen eri vaiheissa. Laskenta ja tulokset on esitetty yksilukuisina ilmastäneristyslukuina, yleisellä tasolla. Vaativien korjaustapausten analyysi on suositeltavaa suorittaa taajuuskaistaisesti, tarkempia lähtötietoja hyödyntäen.

Tutkimuksen tuloksien perusteella raskaalla julkisivukorjauksella ei ole selvää vaikutusta huoneistojen väliseen ilmastäneristyslukuun. Laskemalla ja mittaamalla suoritettujen tarkastelujen perusteella yhden desibelin muutos huoneistojen välisessä ilmastäneristysluvussa on mahdollinen, mutta muutosta ei havaittu yksiselitteisesti. Ulkovaipan äänitasoeroa tarkasteltaessa julkisivukorjauksen vaikutus on sen sijaan selvästi havaittavissa. Hyvin valituilla korjausmenetelmillä sekä materiaaleilla on mahdollista parantaa selvästi saavutettua äänitasoeroa.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

KOSKINEN, JAAKKO : Effects of an Apartment Buildings Heavy Facade Renovation in Airborne Sound Insulation

Master of Science Thesis, 106 pages, 88 Appendix pages

November 2011

Major: Structural Engineering

Examiner: Professor Ralf Lindberg, Tekn. lic. Mikko Kylliäinen

Keywords: facade renocation, airborne sound insulation

This study researches the effects of an apartment buildings heavy facade renovation in airborne sound insulation. The study examines the effects of the renovation in the structures attributes that have effects on the airborne sound insulation. Research covers only the most extreme renovation method in use, which includes the demolition of the facade elements exterior layer. Based on the initial estimate this kind of a renovation method has the biggest impact on airborne sound insulation. Calculatory analysis is based on model elements which represents the actual buildings built during the years 1960-1990. These model elements are created from the BeKo research database by the Tampere University of Technology.

The study focuses on two different phenomena related to airborne sound insulation which the facade structure is engaged in. The phenomena are the weighted apparent sound reduction index (R'_w) and the facade's sound level difference ΔL_A . The mathematical analysis of the phenomena was based on the sound insulation calculations which were performed for the model elements representing the actual buildings, internal layer of the facade elements (situation after the exterior layer is demolished) and for the structures representing the situation after the facade renovation. Weighted sound reduction index R_w and the spectrum terms C and C_{tr} were calculated for all the previously mentioned structures. On the basis of the results it is possible to form the idea of the range of the sound insulation of different structures at different stages of the renovation. The results are presented as weighted sound reduction indexes. It is highly recommended to do more precise frequency analysis if the building is located near a noise source.

On the basis of the results of the study the heavy facade renovation does not have an undisputed effect on the weighted apparent sound reduction index. Mathematical analysis and measurements in actual buildings refers that a change on of a one decibel in the weighted apparent sound reduction index is possible. On the other hand the heavy facade renovation does have a clear effect on the achieved sound level difference. Combining skilful engineering work with wisely selected renovation methods and material, it is possible to significantly improve the sound level difference.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitokselle. Tutkimus on osana ENTELKOR (Energiatehokas lähiökorjaaminen) -projektia, jossa tarkastellaan lähiöiden korjausratkaisuja sekä lähiöasumisen tulevaisuutta. Tampereen teknillisen yliopiston lisäksi tämän tutkimuksen rahoittamiseen ovat osallistuneet: SBK-säätiö, Julkisivuyhdistys ry, Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy (Isover), Saint-Gobain Weber Oy Ab (Maxit), Parma Oy , Paroc Oy Ab sekä SPU Oy. Lämmin kiitos kaikille tutkimuksen rahoittajille tutkimuksen mahdollistamisesta.

Tutkimuksen rahoittajien lisäksi tahdon kiittää tutkimuksen ohjaukseen osallistuneita henkilöitä. Tutkimuksen ohjaukseen osallistuivat rahoittajien puolesta seuraavat henkilöt: Olli Hämäläinen (SBK-säätiö), Jussi Mattila (Julkisivuyhdistys), Mikko Tarri (Julkisivuyhdistys), Jussi Jokinen (Isover), Jorma Mäkipää (Maxit), Matti Haukijärvi (Parma), Jukka Sevón (Paroc) sekä Pasi Käkelä (SPU). Kiitos teille tarjoamastanne avusta tutkimuksen toteutukseen.

Erityisen suuri kiitos kuuluu tutkimusta alusta alkaen henkilökohtaisesti ohjanneille Mikko Kylliäiselle (Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy) sekä Jukka Lahdensivulle (TTY). Teidän ohjauksenne on ollut minulle arvokasta tutkimusta suorittaessani. Kiitos kuuluu myös Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy:lle, jonka resursseja on hyödynnetty tämän tutkimuksen suorittamisessa. Tahdon kiittää myös diplomityön tarkastajia Ralf Lindbergiä sekä Mikko Kylliäistä.

Tutkimuksen rahoittamiseen ja ohjaukseen osallistuneiden henkilöiden lisäksi läheisten ja ystävieni tuki on ollut korvaamatonta. Teidän ansiostanne yksikään vastoinikäyminen ei ole tuntunut ylivoimaiselta. Kiitos.

Tampereella 11.11.2011

Jaakko Koskinen

SISÄLLYS

1. Johdanto	1
2. Elementtirakentamisen kehitys	4
2.1 Elementtirakentamisen historia	4
2.2 BES-hanke	6
2.3 Julkisivuelementtien kehitys	7
2.4 Asuinrakentamisen määrät 1960-1990	8
3. Rakentamista ohjaavien määräysten ja ohjeiden kehitys	10
3.1 Ulkobetonirakenteiden määräysten ja ohjeiden vaikutus tutkittaviin ilmiöihin	10
3.2 Ulkobetonirakenteiden määräysten ja ohjeiden kehitys 1960-1990 luvuilla	11
3.3 Rakennusakustisten määräysten kehitys	12
4. Tutkittavien rakenteiden tausta	17
4.1 BeKo-tietokanta	17
4.2 Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit	18
5. Ilmaääneneristävyyden laskenta	24
5.1 ILPO - ilmaääneneristävyyden laskenta -laskentataulukko	24
5.2 Ilmaääneneristysluvun määrittäminen	26
5.3 Alkuperäisten rakenteiden ilmaääneneristävyyden laskenta	28
5.3.1 Ääneneristyslaskennan tulokset 1960-1971	29
5.3.2 Ääneneristyslaskennan tulokset 1972-1976	30
5.3.3 Ääneneristyslaskennan tulokset 1977-1987	31
5.4 Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien ääneneristyslaskennan tuloksien tulkinta	32
5.5 Ulkokuoren purkamisen vaikutus julkisivuelementin ilmaääneneristyskykyyn	36
6. Julkisivujen korjausvaihtoehdot	39
6.1 Tutkitut korjausratkaisut	39
6.2 Korjausvaihtoehtojen variaatiot	40
6.3 Ääneneristyslaskennan edustavuus	42
6.4 Uusien rakenteiden ääneneristyslaskenta	45
6.4.1 Uusien rakenteiden ääneneristyslaskennan tulokset	48
6.5 Uusien rakenteiden ääneneristyslaskennan tuloksien tulkinta	50
7. Esimerkkikohde	57
7.1 Kohteen kuvaus	57
7.2 Esimerkkikohteesta suoritettut laskelmat	59
8. Julkisivukorjauksen vaikutus ulkoa sisälle siirtyvään liikennemeluun	61

8.1	Liikennemelua koskevat määräykset	61
8.2	Ulkovaipan äänitasoeron laskeminen	63
8.2.1	Äänitasoeromenetelmä	63
8.2.2	Esimerkkilaskelma äänitasoeromenetelmällä	64
8.3	Esimerkkikohteen laskelmat	65
8.4	Äänitasoerovaatimuksen täyttyminen julkisivukorjauksen jälkeen . . .	67
9.	Julkisivukorjauksen vaikutus huoneistojen väliseen ilmaääneneristykseen . .	70
9.1	Huoneistojen välinen ilmaääneneristys	70
9.2	Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun laskenta	71
9.2.1	Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun muutos esimerkkikoh- teessa	73
9.3	Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun mittaaminen	77
9.4	As Oy Riihenhirs	80
9.4.1	Tilanne ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista	80
9.4.2	Tilanne julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen jälkeen	82
9.5	Vuosaaren Kiinteistöt Oy, Rastilantie 5	83
9.5.1	Tilanne ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista	85
9.5.2	Tilanne julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen jälkeen	86
9.6	As Oy Pirkkalanhovi	86
9.6.1	Tilanne ennen purkua	88
9.6.2	Tilanne ulkokuoren purkamisen jälkeen	88
9.7	Laskenta- ja mittaustulosten vertailu sekä tuloksien tulkinta	89
10	Tutkimuksen tulokset, johtopäätökset sekä lisätutkimustarve	94
10.1	Tulosityhteen veto	94
10.1.1	Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun muutos	95
10.1.2	Julkisivujen äänitasoerovaatimuksen täyttyminen julkisivukorjauk- sen jälkeen	97
10.2	Lisätutkimustarve	101
	Lähteet	102
	Liitteet	106

TERMIT JA SYMBOLIT

Absorptio

Absorptio on äänen liike-energian siirtymistä rakenteeseen. Ilmiön suuruutta kuvataan absorptiosuhteella ($\alpha = 0 \dots 1$), joka määrittää materiaalin pinnan kohdanneen äänitehon sekä siitä heijastuneen äänitehon suhteena.

Desibeli (dB)

Desibeli on äänenpainetason yksikkö. Äänenpaineella käsitetään ilmanpaineen vaihteluita, jotka ihminen aistii äänenä. Äänenä aistittavat ilmanpaineen muutokset ovat hyvin pieniä ilmakehän ilmanpaineeseen verrattuna, mutta kuulokynnys on suhteessa hyvin suuri verrattuna kuulokynnykseen. Tästä syystä äänenpaineen käyttö mittalukuna ei ole mielekästä.

Äänenvoimakkuutta mitataan yleisesti äänenpainetasolla L_p [dB]. Äänenpainetaso voidaan laskea kaavan 1 mukaisesti:

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad (1)$$

Kaavassa 1 p on tarkasteltava äänenpaine ja p_0 on kuulokynnystä vastaava äänenpaine. Ihmisen kuuloalueen alaraja on noin $20 \mu\text{Pa}$ (0 dB) ja kipukynnys noin 20 Pa (120 dB). Ilmakehän ilmanpaine on noin 100 kPa .

Dynaaminen jäykkyys

Dynaaminen jäykkyys kuvaa eristemateriaalin jousivakiota, kun eristettä puristetaan. Eristekerroksen dynaaminen jäykkyys vaikuttaa eristerapattujen rakenteiden dilataatioresonanssiin, jolla on selvä vaikutus rakenteen ilmaääneneristyskykyyn.

Hertsi (Hz)

Hertsi on SI-järjestelmän mukainen taajuuden mittayksikkö. Yhden hertsin taajuus vastaa värähtelyä, jossa yksi värähdys toistuu sekunnin välein. Hertsin suurena käytetään yleisesti yksikköä $[Hz] = \frac{1}{s}$, eli värähdystä sekunnissa.

Äänen taajuus (f [Hz]) lasketaan kaavan 2 mukaisesti, jossa n on värähtelyjen määrä aikavälillä T .

$$f = \frac{n}{T} \quad (2)$$

Ihmisen kuuloalue on noin $20 \dots 20\,000 \text{ Hz}$.

Ilmaääneneristysluku

Ilmaääneneristävyys on taajuudesta riippuvainen ilmiö, jota tarkastellaan rakennusakustiikassa kolmannesoktaavikaistoilla taajuusvälillä 100...3150 Hz. Kolmannesoktaavikaistoittain piirretty käyrä onkin tarkin tapa ilmoittaa rakenteen ilmaääneneristyskyky. Käyrien käyttö sekä vertailu on kuitenkin hankalaa ja vaatii akustiikan tuntemusta. Tästä syystä rakenteen ilmaääneneristävyys esitetään useimmiten yhtenä ilmaääneneristyslukuna.

Ilmaääneneristysluku saadaan vertailukäyrä menetelmällä, jossa standardissa ISO 717-1 esitettyä vertailukäyrää verrataan rakenteen kolmannesoktaavikaistoittain esitettyyn ilmaääneneristyskuvaajaan. Vertailukäyrää siirretään 1dB pykälin, kunnes käyrien välinen epäsuotuisa poikkeama on enintään 32 dB. Ilmaääneneristysluku luetaan vertailukäyrältä 500 Hz kohdalta.

Ilmaääneneristysluvulle käytetään symbolia R_w [dB] mikäli ilmaääneneristysluku on mitattu laboratorio-olosuhteissa tai laskettu ainoastaan kyseiselle rakenneosalle. Symbolia R'_w [dB] käytetään silloin, kun ilmaääneneristysluku on mitattu olemassa olevassa rakennuksessa tai laskettu niin, että sivutiesiirtymä on otettu huomioon laskuissa.

Ilmaääneneristävyys

Ilmaääntä tuottava äänilähde saa äänilähdettä ympäröivät rakenteet värähtelemään ilman välityksellä. Rakenteiden värähtely aiheuttaa ilman värähtelyä rakenteen toisella puolella. Näin äänilähteen tuottama ilmaääni siirtyy rakenteen toiselle puolelle. Rakenteen ilmaääneneristävyys (R [dB]) määritellään lähetyshuoneen puolelta rakenteeseen kohdistuvan äänitehon W_1 ja vastaanottohuoneeseen välittyvän äänitehon W_2 suhteen perusteella, kaavan 3 mukaisesti.

$$R = 10 \lg \frac{W_1}{W_2} \quad (3)$$

Äänitehojen mittaaminen ei kuitenkaan ole mahdollista, joten ilmaääneneristävyyden määritelmästä on johdettu menetelmä, jonka avulla ilmaääneneristävyys voidaan laskea mitattavissa olevien äänenpainetasojen perusteella. Näin pystytään mittaamaan olemassa olevan rakenteen ilmaääneneristävyys.

Ilmaääneneristävyys on taajuusriippuvainen suure joka kuvaa rakenteen kykyä eristää pinnalle kohdistuvan äänienergian siirtymistä toiselle puolelle.

Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aika kuvaa äänen vaimenemista tilassa. Tilan jälkikaiunta-aika kertoo, kuinka nopeasti tilaan tuotettu ääni vaimenee 60 dB kun äänilähde poistetaan.

Mikäli tilan äänikenttä on diffuusi, on tilan jälkikaiunta-ajalla $[T]$, tilavuudella $[V]$ ja absorptio-alalla $[A]$ Sabine kaavan (kaava 4) mukainen yhteys

$$TR = 0,16 \frac{V}{A} \quad (4)$$

Kirjahyllyrunko

Kirjahyllyrungolla käsitetään teräsbetonista valmistettua runkotyyppiä, jossa rakennuksen kantavarunko muodostuu kantavista päätyseinistä sekä väliseinistä. Kirjahyllyrungosta on käytetty eri aikakausina erilaisia muunnoksia. Ensimmäiset kirjahyllyrungot valmistettiin paikallavalutekniikkaa käyttäen, mutta myöhemmin kirjahyllyrunkoa käytettiin myös osaelementti- sekä täyselementtirakennuksissa. 1970-luvun alussa valmistuneen BES-hankkeen yhteydessä kirjahyllyrungosta muodostui yleisin rakennusrunkotyyppi.

Koinsidenssitaajuus

Koinsidenssitaajuus on rakennekerroksen rajataajuus, jossa rakenteen taivutusaallon nopeus vastaa äänen nopeutta ilmassa. Koinsidenssitaajuuden ympäristössä rakenteen ilmaääneneristyskyky on selvästi massalain ennustamaan ilmaääneneristävyyttä heikompi.

Moodi

Moodi on yksi tilastotieteen keskiluvuista. Moodi eli tyyppiarvo ilmoittaa, mikä on muuttujan jakauman huippukohta, eli mikä on havaintoaineistossa yleisintä esiintyvä arvo / luokka jossa on eniten havaintoja. Moodi ei välttämättä ole yksikäsitteinen eikä sijaitse välttämättä jakauman keskellä.

Sandwich rakenteen erot (akustiikka / elementti)

Sandwich-rakenteella viitataan kahteen eri asiaan. Betonisandwich-elementti on 1960-luvulta alkaen yleisesti käytetty kerroksellinen julkisivuelementtirakenne, jossa kaksi betonikuorta on kytketty toisiinsa lämmöneristekerroksen läpi menevillä ansailla. Rakennusakustiikassa sandwich-rakenteella tarkoitetaan rakennetta, jossa rakennekerrokset on yhdistetty toisiinsa jäykän eristeen välityksellä. Tutkimuksessa käsitellyistä rakenteista tällaisia ovat eristerapatut korjausvaihtoehdot.

Sivutiesiirtymä

Ääni siirtyy tilojen välillä useita reittejä pitkin. Tiloja erottavan rakenteen lisäksi ääni siirtyy tilojen välillä myös erottavaa rakennetta sivuavien rakenteiden sekä LVIS-järjestelmien kautta. Sivutiesiirtymällä käsitetään ne äänen siirtymärei-
tit, joissa ääni kulkee osittain tai kokonaan muita kuin tiloja erottavaa rakennetta pitkin.

1. JOHDANTO

Betonielementtikerrostalon julkisivukorjauksella voi olla vaikutus myös asuinhuoneistojen akustiikkaan. Etenkin raskas julkisivukorjaus, jossa elementin ulkokuori puretaan pois ja korvataan uudella julkisivurakenteella, muuttaa rakennusosan (julkisivuelementin) akustisia ominaisuuksia. Korjaustavan aiheuttamat muutokset rakenteessa on teoriassa mahdollista havaita huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun (R'_w) sekä julkisivurakenteen saavuttaman ulkovaipan äänitasoeron (ΔL_A) muutoksena, sillä ulkoseinärakenne on osallisena kummassakin näissä rakennuksen ilmaääneneristykseen liittyvässä ilmiössä. [3] Huoneistojen välisenä sivutiireittinä toimivan ulkoseinärakenteen muutokset vaikuttavat mahdollisesti myös huoneistojen väliseen askelääneneristykseen. Askelääneneristykseen liittyvät tarkastelut rajattiin kuitenkin tämän tutkimuksen ulkopuolelle, sillä huoneistojen välistä ilmaääneneristystä voidaan pitää tutkimuksen kannalta yhtenäisenä kokonaisuutena. Samalla tutkimus on rajattu käsittelemään ainoastaan korjaustapaa, jossa betonielementin ulkokuori puretaan pois ja korvataan uudella julkisivurakenteella. Kyseinen korjaustapa muuttaa tutkimuksen lähtökohtana käytetyn arvion perusteella eniten julkisivuelementin akustista käyttäytymistä tutkimuksessa käsiteltyjen ilmiöiden kannalta.

Uudistuotannossa vastaava tilanne muodostuu kun perinteinen betonisandwich-julkisivuelementti korvataan sisäkuorella, sekä paikalla rakennetulla julkisivurakenteella. Tällaisia rakenteita ovat muun muassa sisäkuorielementtiin yhdistetyt paikalla muuratut, levyrakenteiset ja eristerapatut julkisivupinnat. Kyseisten rakenneratkaisuiden akustiset ominaisuudet poikkeavat betonisandwich-elementin ominaisuuksista myös uudistuotannossa, eivätkä ainoastaan korjausrakentamisen yhteydessä. Eristerapattujen julkisivujen vaikutusta rakennusakustiikkaan on tutkittu aikaisemmin Tampereen teknillisen yliopiston diplomityössä, joka on julkaistu rakennustekniikan laitoksen tutkimusraporttina numero 142 [13]. Kyseinen tutkimus ei huomioi julkisivukorjauksen yhteydessä tapahtuvia muutoksia, eikä olemassa olevien rakenteiden asettamia lähtökohtia. Näin ollen tutkimusraportissa 142 esitetyjä tuloksia ei voi sellaisenaan soveltaa raskaiden julkisivukorjauksien tapauksessa.

Tutkimusraportissa 142 esitetyt tulokset ovat kuitenkin verrannollisia julkisivukorjaustapauksen kanssa, mikäli alkuperäisen sandwich-elementtirakenteen sisäkuori sekä ympäröivät rakenteet vastaavat tutkimusraportissa 142 esitetyjä rakenteita. Tutkimusraportissa 142 esitelty tutkimus käsittelee kuitenkin 2000-luvun rakenteita,

jotka poikkeavat selvästi nyt korjaustarpeessa olevista 1960-1980 -luvuilla valmistuneista rakennuksista. [5] Tästä syystä yhtenä tämän diplomityön keskeisistä tavoitteista on selvittää olemassa olevan rakennuskannan rakennusakustiikkaan vaikuttavat ominaisuudet, sekä niiden muutokset raskaan julkisivukorjauksen yhteydessä. Tutkimus voidaan jakaa karkeasti viiteen osa-alueeseen:

1. rakenteiden historia: Olemassa olevan rakennuskannan kuvaus.
2. lähtötaso, tilanne ennen korjausta: BES-aikakauden julkisivuelementin ilmaääneneristyskyky.
3. korjauksen vaikutus, purkaminen: Julkisivuelementin ilmaääneneristyskyvyn muutos, kun julkisivuelementin ulkokuori puretaan pois.
4. korjauksen vaikutus, uusi rakenne: Uuden rakenteen ilmaääneneristyskyky.
5. korjauksen vaikutus, tutkittavat ilmiöt: Kuinka paljon raskas julkisivukorjaus vaikuttaa tutkimuksessa käsiteltäviin ilmiöihin.

Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat laskennalliset tulokset, joiden perusteella on mahdollista arvioida julkisivukorjausten vaikutusta asuinhuoneistojen väliseen ilmaääneneristykseen sekä ulkoa sisälle siirtyvään ääneen ja näin ollen myös huoneistojen asumisviihtyvyyteen. Tutkimus kattaa olemassa olevan rakennuskannan laaja-alaisesti, sillä betonisandwich-elementti on ollut hyvin yleinen julkisivuratkaisu aina elementtirakentamisen alkua ajoista, 1960-luvulta asti. [4] Tutkimuksen tuloksien hyödyntämisen kannalta on erityisen tärkeää selvittää korjauskohteena olevan rakennuksen lähtötiedot mahdollisimman tarkasti.

Tutkimuksessa käsiteltäville ilmiöille on esitetty raja-arvot teknisinä mittalukuihin. Huoneistojen väliselle ilmaääneneristysluvulle R'_w on asetettu raja-arvot Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1 [20] ja julkisivun äänitasoerovaatimus ΔL_A määräytyy Valtioneuvoston päätöksessä 933/1992 [1] esitettyjen huonetiloissa sallittujen äänitasojen perusteella. Kyseiset määräykset ovat muuttuneet tutkimuksen aikarajauksen, 1960...1990 -lukujen aikana. Määräysten muutoksista johtuen tutkimuksen tulokset on pyritty esittämään niin, että tutkittujen ilmiöiden muutoksia verrataan lähtötilanteeseen (tilanne ennen julkisivukorjausta) sekä yleisesti voimassa olleisiin määräyksiin. Lähtökohtana on pidetty myös maankäyttö- ja rakennuslain määritelmää, jonka mukaan korjaustyössä tulee ottaa huomioon rakennuksen ominaisuudet sekä rakennuksen soveltuvuus aiottuun käyttöön. Yleensä korjausrakentamisen yhteydessä voidaan vaatimustasona pitää rakennusajankohtana voimassa ollutta vaatimustasoa nykyvaatimusten sijaan. Korjaustyön yhteydessä rakennuksen ominaisuuksia ei siis tarvitse päivittää täyttämään nykyvaatimustasoa, mikäli tilojen käyttötarkoitus ei muutu. Korjaustyö ei kuitenkaan saa myöskään heikentää

rakennuksen ominaisuuksia. Korjausrakentamisen yhteydessä onkin tavoiteltu laatutaso syytä määritellä tapauskohtaisesti, sillä tilanteesta riippuen voi pienilläkin muutoksilla parantaa rakennuksen asumisviihtyvyyttä ja tuottaa näin ollen lisäarvoa korjaushankkeelle.

2. ELEMENTTIRAKENTAMISEN KEHITYS

2.1 Elementtirakentamisen historia

Suomen ensimmäiset asuntorakentamiseen liittyvät betonielementtikokeilut suoritettiin 1950-luvun alussa täydentävillä rakenneosilla. Ensimmäisiä rakenneosia, joissa uutta tekniikkaa käytettiin olivat muun muassa betoniset porraselementit sekä betonielementeistä valmistetut ilmanvaihtokanavat. Hotelli Palacen talo Helsingissä (rakennettu 1950-1952) oli ensimmäinen kohde Suomessa, jossa käytettiin tehdasvalmisteisia julkisivuelementtejä. [4] [8]

Suomen ensimmäiset yksittäisiä rakennusosia laajemmat elementtikokeilut suoritettiin 1950-luvun puolivälissä. Samoihin aikoihin valmistui myös Suomen ensimmäinen täyselementtirakenteinen asuinkerrostalo Espoon Tapiolaan (As Oy Mäntyviita, valmistunut vuonna 1954). Nämä alkuaikojen elementtikokeilut olivat merkittävässä roolissa elementtitekniologian kehittymisen kannalta. [4][5]

Kehittymätön nostokalusto vaikutti merkittävästi 1950-luvun puolenvälin elementtikokeiluihin. Käytössä olevia nostokoneita ei ollut suunniteltu elementtirakentamista varten ja kaluston nostokapasiteetti oli aluksi elementtirakentamisen kannalta riittämätön. Vähäinen nostokapasiteetti rajoitti myös rakennusosien painoa. [4]

Nostokonetekniikka kehittyi kuitenkin merkittävästi 1950-luvun aikana ja mahdollisti julkisivuelementtien laajamittaisen käyttöönoton 1960-luvun alussa. Elementtitekniologian käyttöönoton kannalta merkittävänä voidaan pitää myös sitä, että 1960-luvun alussa uudet betonista valmistetut runkotyypit, betonipilarirunko sekä myöhemmin betoniseinärunko ja kirjahyllyrunko, olivat syrjäyttämässä aikaisemmin käytetyt tiilestä muuratut rakennusrungot. Uusien runkoratkaisuiden johdosta rakennuksen ulkoseinät eivät enää välttämättä olleet osana kantavaa rakennusrunkoa. [4] [5]

1960-luvulla vallinnut voimakas kaupungistuminen aiheutti asuntotarpeen kaupunkeihin ja niiden läheisyyteen. Etenkin suurten kaupunkien väkiluku kasvoi nopeasti ja kaupunkeihin muodostui asutuspäly. Tilanteen ratkaisemiseksi päädyttiin rakentamaan suuri määrä uusia asuntoja nopealla aikataululla. Samalla myös kiinnostus elementtirakentamista kohtaan kasvoi, sillä jo varhaisessa vaiheessa elementtirakentaminen oli todettu perinteistä rakentamistapaa tehokkaammaksi ja nopeammaksi vaihtoehdoksi. Myös päättäjien mielipiteet muuttuivat pian elementtiraken-

tamista kohtaan suopeammiksi, teollista rakennustapaa kannattaviksi. [8] [4] [5]

1960-luvulla Suomessa yleistynyt aluerakentaminen vauhditti myös osaltaan elementtirakentamisen yleistymistä. Aluerakentamisen aikakaudella rakentamisen avainsanoja olivatkin muun muassa tehokkuus, teollinen sarjatuotanto, moduulit sekä esivalmisteiset rakennusosat. Elementtirakentamisen kehittyessä nopeaa vauhtia oppia haettiin kotimaisen kehitystyön lisäksi ulkomaisista elementtijärjestelmistä. Nopean rakentamisen trendeistä johtuen myös rakennusten sijoittelua muutettiin rakennusprosessin kannalta edullisempaan suuntaan. Nyt rakennusten sijoittelua tarkasteltiin usein työmaaajärjestelyjen kautta. Julkisivurakenteissa trendin aiheuttamat muutokset näkyivät yksityiskohtien vähenemisenä. [4] [5]

Vuonna 1967 käynnistyi Suomessa BES-hanke (betonielementtisysteemi), jonka tarkoituksena oli laatia Suomen oloihin soveltuva avoin betonielementtijärjestelmä ja yhtenäistää näin alalla toimivien yritysten toimintamalleja. BES-hankkeeseen osallistui suunnittelijoita useilta eri aloilta ja tutkimuksessa oli mukana myös akustiikkasuunnittelijoita, sillä elementtitalojen akustiikka oli aiheuttanut keskustelua jo varhaisessa vaiheessa. Asukkaiden kommentit ensimmäisistä elementtitaloista edistivät akustiikkatutkimuksen liittämistä BES-hankkeeseen, sillä osa asukkaista piti 1960-luvun elementtitalojen ääneneristystä heikkona. Rakennuksia luonnehdittiin huonon akustiikan takia lehtikirjoituksissa muun muassa "kaikutankeiksi". [4] [9]

Ennen BES-tutkimusta elementtikerrostalojen akustiikkaa oli käsitelty aikaisemminkin muun muassa Mauri Parjon Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen nimissä suorittaman asuinrakennusten ääneneristys tutkimuksen yhteydessä vuonna 1965 [9]. Tutkimuksessaan Parjo vertaili elementtitekniikalla toteutettujen rakennusten akustiikkaa perinteisin menetelmin rakennettuihin rakennuksiin. Yhtenä lähtökohtana oli Ruotsissa tehty tutkimus, jonka perusteella ruotsalaiset elementtirakenteiset asuinkerrostalot eivät täyttäneet Ruotsissa jo tuolloin olemassa olleita ilmaääneneristysmääräyksiä. Parjo suoritti tutkimuksensa yhteydessä mittauksia sekä perinteisellä tavalla rakennetuissa että elementtirakenteisissa rakennuksissa ja tote si elementtirakenteisten kerrostalojen täyttävän yleensä tuolloin vielä luonnosvaiheessa olleet kansalliset määräykset. Parjon tutkimuksen tuloksien perusteella elementtirakenteisten kerrostalojen mittaustulokset olivat jopa hieman parempia kuin perinteisellä rakennustavalla toteutettujen rakennuksien. [9]

Parjo ei havainnut tutkimuksensa yhteydessä merkittävää eroa perinteisesti toteutettujen ja betonielementtikerrostalojen välillä. Tutkimuksessaan Parjo kiinnitti kuitenkin huomiota elementtikerrostalojen epäsuotuisiin rakenneratkaisuihin sekä rakennuksissa havaittuihin rakennusvirheisiin ja näiden virheiden vaikutukseen huoneistojen välisessä ilmaääneneristyksessä. Tutkimuksen mukaan elementtirakenteisissa kerrostaloissa mitattujen tuloksien hajonta oli pienempi kuin perinteisellä rakentamistavalla toteutetuissa rakennuksissa. [9] Havainto voidaan tulkita viitteek-

si elementtirakentamisen tasaisemmasta laadusta sekä rakenteiden yhdenmukaisuudesta.

Suorittamiensa kyselytutkimuksien perusteella Parjo oli kartoittanut myös sitä, kuinka häiritseväksi asukkaat kokevat eri melulähteet. Tuloksissa korostuivat muun muassa liikennemelu sekä pystysuunnassa kantautuvat, asukkaiden tuottamat äänet. Parjon tutkimuksen perusteella ei löytynyt teknistä selitystä asukkaiden väitteille siitä, että elementtirakenteisten talojen ääneneristys olisi selvästi heikompi kuin perinteisellä rakennustavalla toteutettujen rakennuksien. On mahdollista että väitteet huonosta ääneneristyksestä perustuivat osittain elementtitekologiaan kohdistuneisiin yleisiin mielipiteisiin ja ennakkoluuloihin sekä elinympäristön muutokseen. Maalta kaupunkiin muuttaneiden ihmisten elinympäristö sekä elinympäristön äänimaailma muuttui merkittävästi. [4] [9] Kaupungissa äänekkäämpi ja tiheämpään asuttu elinympäristö saattoi olla osana luomassa tunnetta kerrostalojen huonosta ääneneristyksestä.

2.2 BES-hanke

1960-luvun lopussa alkaneen BES-hankkeen tuloksena kehitetty BES-järjestelmä tarkoituksena oli luoda järjestelmä, jota rakennusalaalla toimivat yritykset voisivat hyödyntää omassa työssään. BES-järjestelmän tavoitteena oli myös yhtenäistää ja kehittää elementtirakentamiseen liittyviä ratkaisuja. Järjestelmää ei kuitenkaan vielä alkuaikoina osattu täysin hyödyntää ja laadullista vaihtelua esiintyi yleisesti. Elementtirakentamisen eteen tehty kehitystyö kohdistui aluksi tuotannollisiin ratkaisuihin rakenteiden ja rakennusten laadun sijaan, vaikka ensimmäisten elementtikerrostalojen laatua olikin arvosteltu. 1970- ja 1980-luvun vaihteessa rakennusalan huomio alkoi kohdistua laaja-alaisemmin myös elementtirakentamisen laatutekijöihin. Elementtirakentamisen laatuun liittyviä asioita oli tarkasteltu jo aikaisemminkin muun muassa 1970-luvun alkupuolella käynnistyneen asukas-BES tutkimuksen yhteydessä, mutta rakentajien mielenkiinto laatua kohtaan heräsi yleisesti vasta myöhemmin. [4] [8]

BES-hankkeen yhteydessä aloitettu akustiikkatutkimus jatkui myös 1970-luvulla. Arkkitehti Alpo Halmeen johtama työryhmä tarkasteli asukas-BES tutkimuksen yhteydessä BES-rakentamisessa tehtyjä työvirheitä ja laati niiden perusteella rakennetyyppejä ja työohjeita rakenteille, sekä suositusarvoja ääneneristykselle. Halmeen työryhmän tutkimus keskittyi osittain samoihin havaittuihin puutteisiin, joita Parjo tarkasteli jo 1960-luvulla. Alpo Halmeen työryhmä suoritti tutkimuksen yhteydessä myös runsaasti erilaisia ääneneristys- ja tärinämittauksia. Suomen Betoniteollisuuden Keskusjärjestö ry laati asukas-BES tutkimuksen perusteella BES-taloille ääneneristystä koskevat suositukset vuonna 1974. [4] [50] [9]

BES tutkimus jatkui aktiivisena aina 1970-luvun loppuun asti. Hankkeen tärkeim-

pänä tehtävänä oli kehittää avoin ja yhteinen elementtijärjestelmä, joka helpottaisi työskentelyä. Hankkeen aikana ja sen valmistuttua valtaosa huomiosta kohdistettiin elementtirakenteiden valmistustekniikoiden kehitystyöhön, joka hidasti osaltaan puhtaasti rakennusteknisten ratkaisuiden kehitystä. BES-järjestelmän luoman pohjan ja 1980-luvun alussa alkaneen teknisen kehityksen avulla on suomalainen kehitystyö johtanut laaja-alaisesti käytettyyn ja tehokkaaseen elementtirakentamiseen. [4]

2.3 Julkisivuelementtien kehitys

Betonisandwich-rakenne yleistyi julkisivuelementeissä 1960-luvulla syrjäyttäen aikaisemmin käytetyt puhtaaksimuuratut tiilijulkisivut, rapatut julkisivut sekä julkisivulevyverhoukset. Aluksi julkisivuelementit olivat usein nauhaelementtejä, mutta 1960-luvun loppupuolella ruutuelementit syrjäyttivät nauhaelementit rakennuksen pitkällä, ei-kantavilla julkisivuosuuksilla. Myöhemmin nostokaluston kehittyessä myös rakennuksen päätyjen kantavat seinärakenteet valmistettiin elementtirakenteisina paikalla valettujen rakenteiden sijaan. [4] [5]

Kirjahyllyrungon käyttö yleistyi samaan aikaan betonisandwich-julkisivuelementtien kanssa. 1970-luvun alkuun mennessä kirjahyllyrunko yhdessä betonisandwich-elementtijulkisivun kanssa oli muodostunut yleisimmäksi rakennustavaksi. 1960-luvun lopussa elementtitekniikan osuus asuinkerrostalorakentamisen uudistuotannosta oli noussut jo yli neljännekseen jatkaen edelleen kasvuaan seuraavilla vuosikymmenillä. 1970-luvun puoliväliin mennessä elementtirakentamisen osuus ylitti uudistuotannossa 50 % ja vuoteen 1992 mennessä osuus oli noussut jo noin 80 %:n. [4] Täysin elementtitekniikalla toteutettujen rakennuksien osuus on selvästi esitettyjä lukuja pienempi, sillä etenkin elementtirakentamisen alkuaikoina rakennukset toteutettiin usein sekarakenteina. Vastaavasti ei-kantavien julkisivuelementtien osuus on mahdollisesti hieman suurempi, sillä sandwich-elementit yleistyivät aluksi juurikin ei-kantavilla julkisivuosuuksilla. VTT:n tekemän tutkimuksen [12] perusteella betonielementti-julkisivuja on valmistettu vuoteen 2005 mennessä yhteensä noin 44 miljoonaa neliömetriä ($44 \times 10^6 \text{m}^2$) [52]

Julkisivuelementtituotannon alkuaikoina 1960- ja 1970-luvuilla suuri osa julkisivuelementeistä valmistettiin harjattupintaisina. Elementti valettiin muottiin sisäkuori ensimmäisenä ja ulkokuoren ulkopinta viimeisteltiin harjaamalla elementin ulkopintaan uritus. Harjattupintainen elementti oli myös huomattavasti helpompi ja nopeampi valmistaa kuin muilla tavoilla pintakäsitteltyt elementit. Muun muassa tästä syystä johtuen harjattupintaisia elementtejä suosittiin myös aluerakentamisen huippuvuosina. 1970-luvun lopussa ja 1980-luvulle siirryttäessä rakennuksilta vaadittiin kuitenkin yhä enemmän yksilöllisyyttä. Yksilöllisyysvaatimusten yleistyessä julkisivupinnat muuttuivat ja pesubetoni sekä tiililaattapintaiset elementit alkoivat

yleistyä. 1970-luvun lopulla pesubetonipintaiset julkisivut yleistyivät ja syrjäyttivät lopulta 1980-luvun aikana perinteiset harjattupintaiset elementit. 1980-luvulla valmistuneista betonisandwich-elementeistä jopa yli puolet oli pesubetonipintaisia harjattupintaisten elementtien osuuden laskiessa selvästi. [12] [4]

BES-hankkeen yhteydessä valtaosa huomiosta kiinnitettiin runkojärjestelmään ja siihen liittyviin ratkaisuihin, eikä betonisandwich-julkisivuelementtien kehitystyö ollut BES-hankkeen keskeisiä tehtäviä. BES-hankkeen ratkaisut vaikuttivat kuitenkin osaltaan myös julkisivuelementtien kehitykseen ja elementtivalmistajien oli jatkossa kiinnitettävä huomiota tehokkaan valmistustavan lisäksi myös julkisivuelementtien teknisiin ratkaisuihin sekä ulkonäköön. Melko pian myös laadulliset tekijät nousivat puheenaiheeksi ja tätä kautta yhdeksi julkisivuelementtien kehitystyön keskeisistä tavoitteista. Julkisivuelementeissä oli havaittu vaurioitumista jo 1980-luvun aikana ja 1980-luvun lopusta alkaen ovat eri tahot suorittaneet runsaasti tutkimus- ja kehitystyötä ulkobetonirakenteiden säilyvyyden parantamiseksi ja säilyvyyteen vaikuttavien tekijöiden huomioon ottamiseksi jo elementtien suunnitteluvaiheessa. [4]

2.4 Asuinrakentamisen määrät 1960-1990

1960-luvun alussa suomalaisessa asuinrakentamisessa elettiin muutoksen aikaa. Sota, sodan jälkeen 1950-luvulla vallinnut pula-aika sekä 1960-luvun alussa alkanut kaupungistuminen olivat saaneet aikaan suuren asuntotarpeen. Rakennusmateriaalien saatavuuden jälleen parantuessa lähti asuinrakentaminen kasvamaan uudestaan. Rakennusteknologian ja -materiaalien kehitys toi alalle uusia tekniikoita ja rakennustapoja, kuten elementtirakentamisen. Nämä muutokset tehostivat ja teollistivat rakennusprosessia huomattavasti sotaa edeltäneeseen aikaan verrattuna. [4] [8]

1950-luvun alkuun mennessä kerrostaloasuntotuotannon määrä oli ylittänyt 10 000 kerrostaloasuntoa vuodessa vain yksittäisinä vuosina. 1960-luvulla tuotantomäärä kohosi jo yli 20 000:n kerrostaloasuntoon vuodessa ja 1970-luvun aikana ylitettiin ensimmäistä kertaa 30 000 kerrostaloasuntoa vuodessa. 1970-luvulla kerrostaloasuntotuotanto-määrät olivat parhaimmillaan yli 40 000 uutta kerrostaloasuntoa vuodessa,. Asuntotuotanto saavutti huippunsa vuonna 1974, jolloin valmistui yhteensä 46 200 uutta kerrostaloasuntoa. Vuonna 1974 valmistuneista rakennuksista jo noin joka toisessa oli hyödynnetty elementtitekniologiaa. [4] [5]

1970-luvun huippuvuosien jälkeen kerrostaloasuntotuotannon määrä kääntyi laskuun. 1980-luvulla kerrostaloasuntotuotannon määrät laskivat jopa alle 1960-luvun tason, kohoten kuitenkin 1980-luvun lopussa uudestaan yli 20 000 valmistuneeseen kerrostaloasuntoon vuodessa. [4]

Kerrostaloasuntotuotannon määrä on vaihdellut jonkin verran verrattuna asuntotuotannon kokonaismäärään. Kerrostalojen osuus on kuitenkin ollut 1960-luvun

alusta alkaen yli puolet kokonisasuntotuotannosta. Kerrostalojen prosentuaalinen osuus on vaihdellut 1960-1990 lukujen aikana yleisesti välillä 50...70% asuntotuotannon kokonaismäärästä. Kerrostaloasuntotuotannon määrän lisäksi myös asuntojen koko on kasvanut hieman elementtituotannon alkuaajoista. Asuinkerrostalorakentamisen uudistuotannon kerrosala kasvoi voimakkaasti 1970-luvun huippuvuosiin asti ja on sen jälkeen tasaantunut selvästi huippuvuosia alhaisemmalle tasolle. [4] [10] [11] [12]

3. RAKENTAMISTA OHJAAVIEN MÄÄRÄYSTEN JA OHJEIDEN KEHITYS

3.1 Ulkobetonirakenteiden määräysten ja ohjeiden vaikutus tutkittaviin ilmiöihin

Tutkimuksessa käsiteltävien ilmiöiden tarkastelun ja tulosten tulkinnan kannalta on tärkeää ottaa huomioon sekä rakennusakustiikkaa että rakennustekniikkaa käsittelevät määräykset ja ohjeet, sekä kumpaaakin osa-aluetta käsittelevien määräysten ja ohjeiden vaikutus tutkittaviin ilmiöihin. Tämän tutkimuksen yhteydessä määräyksiä ja ohjeita ei ole käsitelty täydessä laajuudessa, vaan niistä on käsitelty ainoastaan tutkimukseen vaikuttavat osiot.

Julkisivuelementin teoreettinen ilmaääneneristyskyky pystytään laskemaan, kun tunnetaan elementin rakennekerrokset sekä niiden materiaaliominaisuudet. [15] Näin ollen tutkimuksen kannalta oleellisia ovat määräykset ja ohjeet, jotka vaikuttavat julkisivuelementin ulkokuoren sekä lämmöneristeen paksuuteen tai materiaaliominaisuuksiin. Materiaaliominaisuuksiin liittyvien määräysten, kuten mineraalivillan ominaisuuksien, betonin kimmomoduulin tai betonin tiheyden muutoksia voidaan pitää havaintovälillä 1960-1992 vähäisinä. [13] [14]

Betonisandwich-elementin ääneneristyskykyä laskettaessa lämmöneriste toimii lähinnä raon absorptiomateriaalina, sillä elementin kuoret on kytketty toisiinsa jäykästi ansailla. Eristeenä käytetyn villan ominaisuuksilla ei ole merkittävää vaikutusta tämän tutkimuksen yhteydessä suoritettuihin ilmaääneneristävyyslaskelmiin, sillä ääni siirtyy elementin kuorien välillä villan sijasta ansaiden kautta. Villakerroksen paksuus sen sijaan vaikuttaa ansaiden pituuteen ja samalla ansaiden dynaamiseen jäykkyyteen. Ansaiden dynaamisen jäykkyyden kautta villakerroksen paksuus vaikuttaa siis myös ilmaääneneristävyyslaskelmiin. [3] [15]

Lämmöneristeen materiaaliominaisuuksien tavoin myös tutkimuksen aikarajauksen aikana tapahtuneiden betonin lujuusluokan muutoksien vaikutus ilmaääneneristävyyslaskennan tuloksiin on hyvin pieni. Lämmöneristekerroksen paksuuden tapaan myös elementin betonisten kuorirakenteiden rakennekerroksen paksuudella on huomattavasti materiaaliominaisuuksia suurempi vaikutus laskennan tuloksiin. Vähäisestä vaikutuksesta huolimatta, betonin lujuusluokan muutokset on kuitenkin otettu huomioon myöhemmin laskennassa. [3] [29]

3.2 Ulkobetonirakenteiden määräysten ja ohjeiden kehitys 1960-1990 luvuilla

Elementtiteollisuus kehittyi ja muuttui huomattavasti 1960-luvulla. 1960-luvun aikana elementtien valmistus siirtyi työmaavalimoista pääosin tehtaisiin. Valmistuksen siirtäminen tehtaisiin tehosti elementtituotantoa merkittävästi ja vaikutti myös osaltaan elementtien laatuun. Tehdasolosuhteet olivat työmaaolosuhteita paremmin säädeltävissä ja mahdollistivat lähes muuttumattomat työskentelyolosuhteet. Elementtituotannon alkuaikoina 1960 ja 1970 -luvuilla ei kuitenkaan ollut tarvittavaa tietoa ulkobetonirakenteiden pitkäaikaiskestävyydestä, eikä pitkäaikaiskestävyyteen osattu kiinnittää huomiota. Pitkään vallinnut käsitys olikin, että elementtirakenteiden käyttöiästä ei tarvinnut huolehtia. Puutteellisesta tiedosta johtuen ulkobetonirakenteiden pitkäaikaiskestävyyttä pidettiin hyvänä. Alkuaikoina myös käyttöikätaavoitteet olivat huomattavasti nykyistä alhaisempia ja taloudellisten etujen tavoittelu oli usein tärkeämpää kuin elementtien laadullinen kehitys. [4] [5]

Rakennustavan yleistyessä ja kehittyessä lisääntyi mielenkiinto myös elementtirakenteiden pitkäaikaiskestävyyttä kohtaan ja pitkäaikaiskestävyyteen alettiinkin kiinnittämään enemmän huomiota tiedon ja kokemuksen karttuessa. Elementtirakentamista ja sen laadullisia vaatimuksia ohjaavat betonielementtinormit julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 1958. Ulkobetonirakenteiden säilyvyyteen liittyviä määräyksiä ja ohjeita oli julkaistu jo ennen betonielementtinormeja, muun muassa vuonna 1954 ilmestyneissä betoninormeissa. Betoninormien lisäksi säilyvyysasioita on käsitelty myös muissa Suomen Betoniyhdistys ry:n ja Suomen Rakennusinsinööriliiton julkaisuissa sekä Suomen rakentamismääräyskokoelmassa. [4] [14]

Vuonna 1960 julkisivubetonirakenteiden laadulliset vaatimukset perustuivat käytössä olleisiin vuoden 1954 Betoninormeihin. Vuoden 1954 Betoninormeissa määritellään julkisivuelementin ulkokuoren vähimmäispaksuudeksi 50 mm ja lämmöneristeen vähimmäispaksuudeksi 70 mm. Ulkokuoren betonina käytettiin yleisesti lujuusluokan K25 betonia, sisäkuoren betonin ollessa yleensä lujuusluokkaa K20. Sisäkuoren betoni lujuusluokka muuttui 1980-luvun aikana vastaamaan ulkokuoren lujuusluokkaa K25, ulkokuoren betonin lujuusluokan säilyessä muuttumattomana koko tutkimuksen aikarajauksen ajan. [14] [16]

Vuoden 1971 Betoninormeissa julkisivuelementtien lämmöneristeen vähimmäispaksuutta korotettiin 20 mm vuoden 1954 arvosta, joten vuodesta 1972 alkaen julkisivuelementtien lämmöneristeen minimivaatimus oli 90 mm. Tämän jälkeen seuraavan kerran julkisivubetonirakenteiden määräykset muuttuivat tutkimuksen kannalta merkittävästi vuoden 1975 Betoninormeissa. Tällöin lämmöneristysvaatimusta kiristettiin jälleen ja vaadittu eristepaksuus nousi 90 mm:stä 120 mm:n. Yhtenä syynä lämmöneristysmääräysten kiristämiseen oli maailmalla vallinnut energiakriisi, jon-

ka seurauksena energian hinta kohosi huomattavasti. Vuoden 1975 betoninormeissa myös ulkokuoren vähimmäispaksuus muutettiin 50 mm:stä 70 mm:n. Lämmöneristysvaatimusta kiristettiin tutkimuksen rajauksen aikana vielä kerran vuoden 1987 Betoninormeissa. Vuodesta 1988 lähtien lämmöneristekerroksen vähimmäispaksuuden vaatimus oli 140 mm. [14] [16]

Betonirakenteiden säilyvyyttä käsittelevien määräysten kehitys ja pitkäaikaiskestävyyttä tarkastelevan tutkimustyön määrä lisääntyi 1980-luvun aikana, sillä osassa elementtirakenteista havaittiin vaurioitumista jo lyhyen ajan jälkeen. 1980-luvun aikana pakkasrapautuman aiheuttamia vaurioita havaittiin jopa vain noin 15 vuotta vanhoissa, 1970-luvulla valmistuneissa elementeissä. Näkyvien vaurioiden takia huomio kiinnittyi aluksi lähinnä pakkasvaurioihin, mutta jo 1980-luvun aikana korjaustarpeen määrää ja muita vauriomekanismeja alettiin tutkia myös laaja-alaisemmin. 1980- ja 1990-lukujen aikana luotiinkin pohja nykyisille ulkobetonirakenteiden säilyvyyttä käsitteleville määräyksille. [4]

Taulukossa 3.1 on esitetty tutkimuksen kannalta oleelliset muutokset betonisandwich-julkisivuelementtien ulkokuoren sekä lämmöneristeen rakennepaksuuksissa. Taulukossa esitetyt rakennekerroksen vähimmäispaksuutta kuvaavat arvot perustuvat ulkobetonirakenteiden säilyvyyttä käsitteleviin määräyksiin ja ohjeisiin. [14] [16]

Taulukko 3.1: Betonisandwich-julkisivuelementtien ulkokuoren ja lämmöneristeen vähimmäispaksuudet vuosina 1960-1992

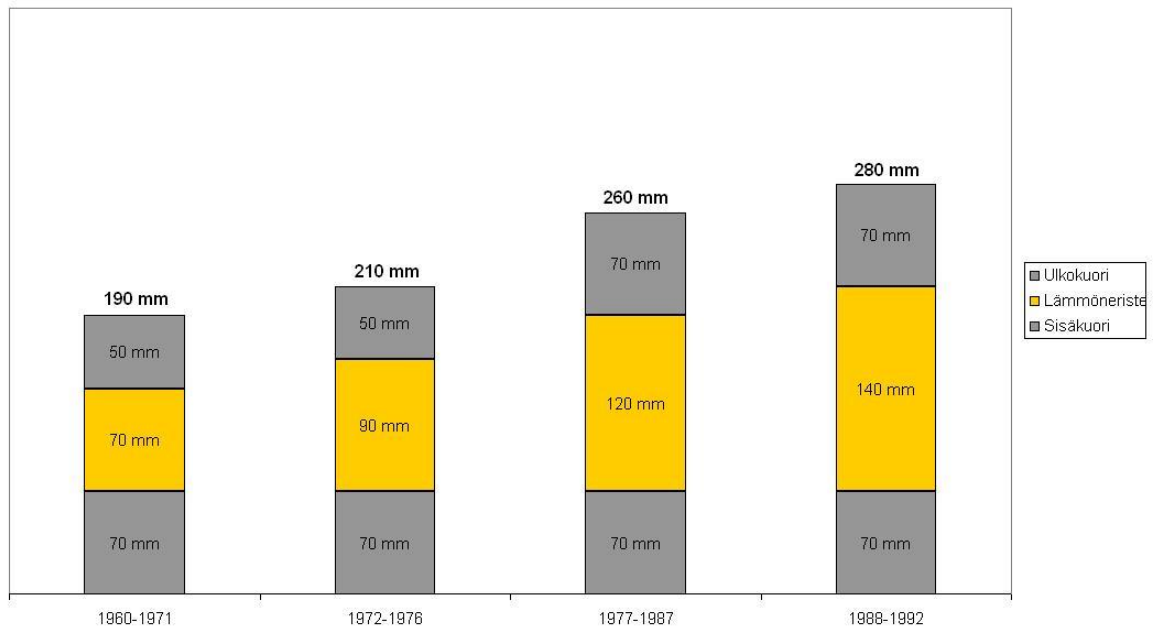
	1960	...	1971	1972	...	1976	1977	...	1987	1988	...	1992
EP	70 mm			90 mm			120 mm			140 mm		
UKP	50 mm						70 mm					

EP = eristepaksuus, UKP = ulkokuoren paksuus

Betonisandwich-julkisivuelementtien sisäkuoren paksuus on säilynyt muuttumattomana koko tutkimuksen aikarajauksen ajan. Kantavan julkisivuelementin sisäkuoren suunnittelupaksuutena on käytetty yleisesti arvoa 150 mm ja ei-kantavan elementin sisäkuoren suunnittelupaksuutena arvoa 70 mm. Tämän tutkimuksen yhteydessä käytettyjen, määräyksien ja ohjeiden perusteella laadittujen eri aikakausia kuvaavien mallielementtien rakennekerroksien suunnittelupaksuudet on esitetty kuvissa 3.1 (ei-kantavat elementit) ja 3.2 (kantavat elementit). [14] [16] [17]

3.3 Rakennusakustisten määräysten kehitys

Akustiikkaa on sivuttu rakennuslainsäädännössä ensimmäisen kerran vuonna 1920. Tällöin julkaistussa "Laki eräistä naapurussuhteista"§:ssä 17 kielletään varaston pito ja kiinteistön käyttö niin, että se aiheuttaa naapurille kohtuutonta räsitusta. Toi-

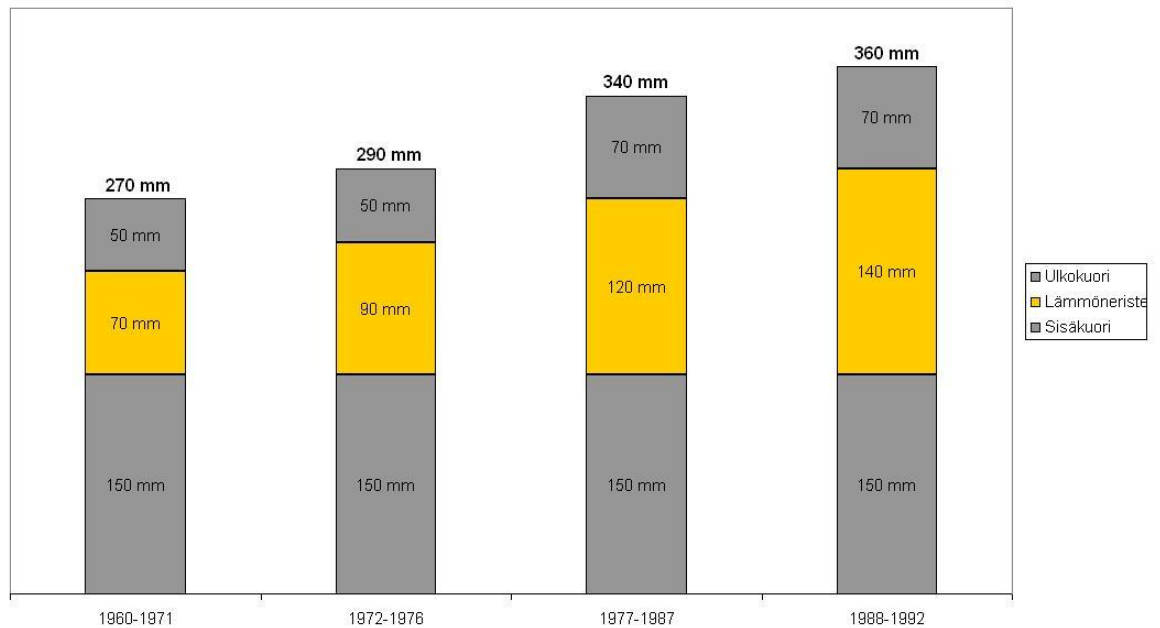


Kuva 3.1: Ei-kantavien betonisandwich-elementtien rakennekerrosten paksuuksien suunnitteluarvot 1960-1992.

nen varhainen esimerkki akustiikan esiintymisestä suomalaisessa lainsäädännössä on vuonna 1931 julkaistu, pääasiassa kaupunkialueita koskeva asemakaavalaki, joka sivuaa myös akustiikkaa. Vuoden 1931 asemakaavalaissa määritellään, että asuin- ja liikehuoneistoja sisältävien rakennusten rakenteet tulee olla sellaiset, että ne suojaavat asuinhuoneistoa tyydyttävästi viereisistä asunnoista tulevilta haitoilta. Asemakaavalaki kumottiin vuonna 1958 voimaan tulleella rakennuslailla. [18]

Vuoden 1958 rakennuslaissa mainittiin ensimmäistä kertaa ääneneristys melulta suojaamisen yhteydessä. Rakennuslain ääneneristystä käsittelevää kohtaa muutettiin vuonna 1989 niin, että kohdassa otetaan huomioon myös tilojen käyttötarkoitus. Maankäyttö- ja rakennuslaki kumosi vuonna 1999 vuoden 1958 rakennuslain. Vuonna 1999 annettu maankäyttö- ja rakennuslaki on edelleen osana Suomessa voimassa olevaa lainsäädäntöä. Lakiteksteissä olleista maininnoista huolimatta Suomessa ei ollut vielä 1940 ja 1950 -luvuilla teknisinä mittalukuina esitettyjä akustiikkaa koskevia määräyksiä. Lakitekstissä olleet akustiikkaa koskevat määräykset olivat sanallisia ja niiden tulkinnassa esiintyi vaihtelua. [18] [19]

Lainsäädännön lisäksi rakennusakustiikan kehityksen kannalta merkittäviä tahoja olivat muun muassa Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL sekä Ääniteknillinen Yhdistys ry. RIL oli käsitellyt julkaisuissaan rakennusakustisia aiheita jo varhaisessa vaiheessa ja julkaissut muun muassa rakennusakustiikkaan liittyviä ohjeita. Vaikka RIL:in ohjeet eivät olleet säädöksiä, tulkittiin niitä usein säädöksiin verrattavalla tavalla. Voidaankin siis sanoa, että rakennusakustiikan merkitys oli ymmärretty Suomessa jo aikaisessa vaiheessa. Tutkimustoimintaa rajoitti alussa muun muassa



Kuva 3.2: Kantavien betonisandwich-elementtien rakennekerrosten paksuuksien suunniteltu arvot 1960-1992.

resurssien vaihteleva saatavuus ja akustiikkaan liittyvää tutkimustietoa haettiin kotimaisen tutkimuksen lisäksi usein ulkomailta teknologian siirtona. Tärkeimpinä yhteistyö- ja lähdemaina toimivat muun muassa Yhdysvallat, Iso-Britannia, Saksa ja Ruotsi. Akustisen tutkimuksen huomio kääntyi kuitenkin myöhemmin voimakkaasti kohti kotimaista tutkimustyötä, sillä ulkomailta haetut ratkaisut eivät aina sopineet täysin suomalaiseen rakennustapaan. [18] [21]

1950-luvun alussa Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen rakennusteknillinen laboratorio suoritti ensimmäisen laajemman ääneneristystutkimuksen Suomessa. Tutkimus suoritettiin Kulkulaitosten ja yleisten töiden ministeriön myöntämällä määrärahalla ja julkaistiin vuonna 1955 nimellä Kerrostalojen ääneneristystutkimus. Tutkimuksen yhtenä johtopäätöksenä oli, että ääneneristysnormityö olisi saatava käyntiin Suomessa, jotta Suomeen saataisiin kansalliset akustiikkaa käsittelevät ohjeet. Tämä johtopäätös oli yhtenevä Ääniteknillinen Yhdistys ry:n tekemien havaintojen kanssa. Ääniteknillinen Yhdistys ry olikin ehdottanut normien laatimisesta ensimmäisen kerran jo 1940-luvun lopussa. [18] [21]

Rakennusakustiikkaa ohjaavien normien laatiminen käynnistyi Suomessa melko pian Kerrostalojen ääneneristystutkimuksen jälkeen. Vielä 1950-luvun aikana Akustinen seura suoritti Kulkulaitosten ja yleisten töiden ministeriön tutkimusmäärärahan turvin tutkimuksen asuinhuoneistojen ääneneristysluokittelua varten. Tutkimuksen tuloksena julkaistiin "Ehdotus ääneneristysmääräyksiksi" vuonna 1960. Työtä jouduttiin kuitenkin vielä tarkastamaan, sillä tutkimus oli mennyt samaan aikaan käynnissä olevan yhteispohjoismaisen tutkimuksen edelle. [18] [21]

Pitkään jatkuneen kehitystyön tuloksena Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry julkaisi Ääneneristysnormit vuonna 1967, noin 20 vuotta sen jälkeen, kun Ääniteknillinen Yhdistys ry oli ensimmäistä kertaa keskustellut normien laatimisesta. Pitkä aikaväli, lukuisat normien kehityksen taustalla olleet tutkimukset sekä pohjoismainen tutkijayhteistyö vaikuttivat omalla tavallaan normien muotoutumiseen. Vuoden 1967 normeissa esitetyt ääneneristysvaatimukset säilyivät muuttumattomina aina vuoteen 2000 asti. [21]

Vuonna 1967 julkaistut Ääneneristysnormit olivat ensimmäinen Suomessa julkaistu yleisen hyväksynnän saanut rakennusakustiikkaa ohjaava teos, jossa akustiikkaa koskevat määräykset esitettiin teknisinä mittalukuina. Vaikka normit eivät olleet säädöstasoisia määräyksiä, muodostui niistä nopeasti määräyksiin rinnastettava teos. Ääneneristysnormeista julkaistiin vuonna 1971 toinen painos, johon oli lisätty selitetekstien täydennyksiä sekä esimerkkejä. Normeissa esitetyt ääneneristysvaatimukset eivät muuttuneet tässä yhteydessä. [18] [21] [6]

Vuoden 1967 Ääneneristysnormeissa esitetään vaatimus askeläänen- (*askeläänentasoindeksi* I_i) ja ilmaääneneristävyydelle (*ilmaääneneristysindeksi* I_a), joista tämän tutkimuksen kannalta keskeinen määräys on huoneistojen väliselle ilmaääneneristykselle raja-arvon asettava ilmaääneneristysindeksi (I_a). Ilmaääneneristysindeksi määritellään vertailukäyrämenetelmällä rakennuksessa mitatuista kolmannesoktaavikaistaisista tuloksista taajuusalueella 100...3150 Hz, samalla tavalla kuin nykyisin käytössä oleva ilmaääneneristysluku (R'_w). Ilmaääneneristysindeksiä määriteltäessä vertailukäyrä ei saa ilmaääneneristysluvun määrittämisestä poiketen ylittää mitattua tulosta yli kahdeksalla desibelillä millään mitatuista keskitajuuksista. Ilmaääneneristysluvun määrittäminen vertailukäyrämenetelmällä on esitetty tarkemmin kappaleessa 5.2. Normeissa esitetty ilmaääneneristysindeksin vähimmäisvaatimus oli pystysuunnassa 53 dB ja vaakasuunnassa 52 dB. Indeksien määrittämismenetelmästä johtuen suurempi I_a luku tarkoittaa parempaa huoneistojen välistä ääneneristystä. [18] [6]

1970-luvun puolivälissä rakentamista koskevat määräykset koottiin Suomen rakentamismääräyskokoelmaksi. Määräyskokoelma on jaettu aihealueittain osiin ja sisältää kaikki keskeiset, Suomessa voimassa olevat rakentamismääräykset. Ääneneristykseen liittyviä määräyksiä käsiteltiin Rakentamismääräyskokoelman vuonna 1976 voimaan tullessa C1-osassa. Vuoden 1976 C1-osassa teknisinä mittalukuina esitetyt määräykset eivät poikkea vuoden 1967 Ääneneristysnormeista. Ääneneristystä käsiteltiin lisäksi vielä vuonna 1978 julkaistussa Rakentamismääräyskokoelman osassa C5, jossa on esitetty suunnitteluohjeita ääneneristyksen toteuttamiseksi. [18] [6]

Rakentamismääräyskokoelman C1-osan määräykset muuttuivat tutkimuksen kannalta merkittävästi seuraavan kerran vuonna 1985. Vuonna 1985 toteutetun uudistuksen yhteydessä luovuttiin aikaisemmin käytössä olleista käsitteistä ilmaäänene-

ristysindeksi ja askeläänentasoindeksi. Uudessa C1-osassa määriteltiin uusina mittalukuina ilmaääneneristysluku R'_w ja askeläänitasoluku $L'_{n,w}$. Tämän tutkimuksen kannalta oleellinen ilmaääneneristysindeksi ja sitä seurannut ilmaääneneristysluku vastasivat toisiaan. Ilmaääneneristyslukua määriteltäessä aikaisemmin käytössä ollut yli 8 dB poikkeaman estänyt sääntö muuttui niin, että kahdeksaa desibeliä suuremmat poikkeamat sallittiin, mutta poikkeamasta tuli ilmoittaa mittausraportin yhteydessä. Muilta osin ilmaääneneristysindeksin ja ilmaääneneristysluvun määrittelyt vastasivat toisiaan. Vuonna 1985 suoritettu uudistus oli viimeinen tutkimuksen aikarajauksen aikana tapahtunut uudistus, joka vaikutti tutkimuksessa käsiteltäviin ilmiöihin sekä niihin liittyviin käsitteisiin. Vuoden 1985 uudistuksen yhteydessä huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun vaatimus säilyi muuttumattomana, vaikka mittaluku muuttui. Taulukossa 3.2 on esitetty määräysten ja mittalukujen kehitys sekä voimassaoloaika aikajanana. [18] [6]

Taulukko 3.2: Ääneneristysmääräysten kehitys 1960-1992

Voimassa oleva määräys,											
1960	...	1966	1967	...	1975	1976	...	1984	1985	...	1992
									RakMK C1 1985		
						RakMK C1 1976					
ei määräyksiä	Ääneneristysnormit										
	Ilmaääneneristysindeksi I_a								Ilmaääneneristysluku		
Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun minimivaatimus											
ei määräyksiä	vaakasuunnassa 52 dB										
	pystysuunnassa 53 dB										

Tämä tutkimus rajattiin käsittelemään ainoastaan raskaan julkisivukorjauksen vaikutusta huoneistojenväliseen ilmaääneneristyslukuun. Ilmaääneneristysluvun ta-
voin myös askeläänitasoluku liittyy huoneistojen väliseen ääneneristykseen, mutta on ilmaääneneristystä käsittelevän tutkimuksen kannalta erillinen kokonaisuus.

4. TUTKITTAVIEN RAKENTEIDEN TAUSTA

4.1 BeKo-tietokanta

BeKo-tietokanta on Tampereen teknillisessä yliopistossa, Betonijulkisivujen korjausstrategiat -tutkimuksen yhteydessä kerätty, betonijulkisivujen ja -parvekkeiden kuntotutkimustietoa sisältävä tietokanta. Tietokannan aineisto on kerätty Betonijulkisivujen korjausstrategiat -tutkimukseen osallistuneilta kiinteistönomistajilta, kuntotutkimuksia suorittavilta insinööritoimistoilta sekä Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitoksen suorittamista töistä ja tutkimuksista. Tietokannan tiedot on kerätty yhteensä 422 kuntotutkimusraportista ja tietokanta sisältää kuntotutkimushavaintoja yhteensä noin 950 eri rakennuksesta. BeKo-tietokannassa olevat rakennukset ovat valmistuneet vuosien 1960...1996 aikana. Suurin osa aineistosta on kerätty kohteista, jotka ovat valmistuneet 1970- ja 1980-luvuilla. 1960- ja 1990-luvuilla valmistuneiden kohteiden osuus on vähäinen. [22]

BeKo-tietokannan rakenne edustaa melko hyvin olemassa olevan rakennuskannan ikäjakaumaa, jossa 1970-luvun huippuvuosina valmistuneet rakennukset korostuvat. Tietokannassa korostuvat myös elementtirakentamisen huippuvuosina yleisesti käytössä olleet maalatut harjattupintaiset elementit sekä pesubetonipintaiset elementit. Tämän tutkimuksen yhteydessä on hyödynnetty BeKo-tietokannassa olevia, julkisivuelementtien ulkokuoren sekä lämmöneristeen rakennepaksuuteen liittyviä mitattuja havaintoja. Käytetty aineisto on kerätty yhteensä yli 700 rakennuksesta ja aineisto sisältää noin 2000 havaintoa betonisandwich-elementeistä mitatuista betoni-ulkokuoren paksuuksista sekä lämmöneristepaksuuksista. Lähtötietoaainestoa voidaan pitää luotettavana ja edustavana, sillä BeKo-tietokannassa olevia kohteita ei ole erikseen valittu tietokantaa varten. Tietokannassa korostuvat aikakaudet sekä rakennetyypit saattavat kuitenkin hieman vääristää tuloksia, kun havainnot yleistetään koko tässä tutkimuksessa käsitellylle aikarajaukselle. Tarkkuutta voidaan silti pitää riittävänä, sillä kyseiset rakennusratkaisut sekä julkisivutyypit korostuvat myös kyseisen aikakauden rakennuskannassa. [22] [5]

BeKo-tietokannan sisältämät havainnot ovat pääasiassa Tampereen teknillisen yliopiston sekä Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy:n keräämiä, muiden toimijoiden keräämän aineiston osuuden ollessa vähäinen. Tietokannan lähtötietona toimineet kuntotutkimukset on suoritettu Suomen Betoniyhdistys ry:n julkaiseman by 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002 ohjeen mukaisesti. Näin ollen kuntotutkimuksia

voidaan pitää keskenään vertailukelpoisina ja havaintoaineistoon liittyviä poikkeamia vähäisinä ja merkityksettöminä, kun havaintoaineiston laajuus otetaan huomioon. [22] On myös otettava huomioon, että todellisuudessa rakenteet sisältävät suurta vaihtelua, joten yleistetyt tulokset eivät edusta yksittäistä tiettyä rakenneosaa, vaan reaali maailman tilannetta yleisellä tasolla. Reaali maailman rakenteiden tarkka ja laajamittainen mallintaminen on hankalaa, mutta tutkimuksen kannalta riittävä taso on saavutettavissa käytössä olevien lähtötietojen perusteella.

4.2 Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit

Tutkimuksessa laskennallisesti analysoitavat, olemassa olevaa rakennuskantaa kuvaavat rakenteet valittiin BeKo-tietokannan havaintojen ja havaintoaineiston edustavuuden perusteella. Tietokannan materiaali lajiteltiin ensin ulkobetonirakenteiden rakennepaksuuksiin vaikuttavien määräysten perusteella neljään osaan (määräyksiä ja niiden muutoksia on käsitelty kappaleessa 3.2):

1960 - 1971	Työn raja	... Betoninormit 1971
1972 - 1976	Betoninormit 1971	... Betoninormit 1975
1977 - 1987	Betoninormit 1975	... Betoninormit 1987
1988 - 1992	Betoninormit 1987	... Työn raja

Laskennassa käytetyt lämmöneristepaksuudet laskettiin tämän jaottelun perusteella sillä poikkeuksella, että vuoden 1987 sijasta rajana pidettiin BeKo-aineistossa rajana käytettyä vuotta 1985. Aineistoa tarkasteltaessa todettiin vuoden 1987 jälkeen valmistuneiden kohteiden osuuden olevan vähäinen, eikä kyseiseltä aikakaudelta kerättyjä betonirakenteiden havaintoja voi pitää aikakauden rakennuskantaa edustavana. Näin ollen vuoden 1987 jälkeen valmistuneet kohteet rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle, tutkimuksen kannalta puutteellisten lähtötietojen takia.

Lämmöneristepaksuuksia ei ole lajiteltu erikseen eri elementtityypeille, vaan kaikille kyseisen aikakauden tarkasteltaville elementtityypeille käytetään samoja lämmöneristepaksuuksia. Betonikuorista poiketen lämmöneristeet ovat tehdasvalmistettuja, eikä niiden paksuus ole riippuvainen elementin valmistusprosessista. Tästä syystä elementtitehtaille toimitettujen lämmöneristeiden paksuutta voidaan pitää lähes vakiona. Lämmöneristepaksuuden vaihtelut ja elementin valmistusmenetelmän vaikutus eristeen kokoonpuristumaan on otettu huomioon myöhemmin olemassa olevaa rakennuskantaa kuvaavia laskentaelementtejä muodostettaessa. [22]

Taulukossa 4.1 on esitetty lämmöneristeille lasketut tunnusluvut, keskiarvo (*ka.*), keskihajonta (*S*), tyypillisin arvo (*moodi*) sekä keskiarvon ja keskihajonnan summa sekä erotus. Taulukon alimmalla rivillä on lisäksi esitetty kappaleen 3.2 mukainen lämmöneristeen suunnittelupaksuus (*suunnit.*).

Taulukko 4.1: Lämmöneristejakaumien tunnusluvut 1960-, 1970- ja 1980-luvulla

Lämmöneristeiden jakaumat					
1960-1971		1972 - 1976		1977 - 1985	
ka.	79,2 mm	ka.	90,1 mm	ka.	109,3 mm
S	13,0 mm	S	15,4 mm	S	15,1 mm
moodi	85 mm	moodi	85 mm	moodi	120 mm
ka. + S	92,3 mm	ka. + S	105,6 mm	ka. + S	124,3 mm
ka. - S	66,2 mm	ka. - S	74,7 mm	ka. - S	94,2 mm
suunnit.	70 mm	suunnit.	90 mm	suunnit.	120 mm

$$\text{keskiarvo: } ka. = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\text{keskihajonta: } s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Elementtien eristepaksuutta kuvaavia aineistoja voidaan pitää tutkimuksen kannalta riittävän edustavina. Keskihajonnan päässä keskiarvosta on aineistosta riippuen 72,6...85,4 % koko aineiston havainnoista, suurimman keskihajontaluvun ollessa 15,4 mm. Myös aineistoille lasketut tunnusluvut keskiarvo (*ka.*) sekä tyypillisin arvo (*moodi*) ovat tutkimuksen kannalta riittävän lähellä aikakauden eristepaksuuden suunnitteluarvoa (*suunnit.*, lämmöneristekerroksen paksuuden minimivaatimus). Lämmöneristeiden jakaumat sekä tunnusluvut on esitetty liitteessä 1.

Elementtien betoniulkokuoriin liittyvät BeKo-tietokannan havainnot jaettiin vielä kantavuuden perusteella kantaviin (viitataan aineistossa sanalla: umpi) ja ei-kantaviin (viitataan aineistossa sanalla: ruutu) elementteihin, sekä ulkokuoren pinnan perusteella seuraavasti:

BEKO -tietokanta					
-		-		-	
1960...1971		1972...1976		1977...1987	
-		-		-	
-		-		-	
UMPI	RUUTU	UMPI	RUUTU	UMPI	RUUTU
-		-		-	
-		-		-	
UMPI- ja RUUTU -elementtien lajittelu pinnan mukaan.					

BeKo-tietokannan aineiston lajittelun tuloksena muodostui yhteensä 27 eri elementtityyppiä. Kaikille eri elementtityyppien ulkokuorien havaintoaineistoille laskettiin lämmöneristeiden tapaan tunnusluvut keskiarvo, keskihajonta, moodi sekä (*keskiarvo - keskihajonta*) ja (*keskiarvo + keskihajonta*). Osa-aineistoja validiteettia sekä havaintojen määrää ja aineistolle laskettuja tunnuslukuja verrattiin kirjallisu-

nessa esitettyihin rakennetietoihin ja aikakaudelle tyypillisiin rakenneratkaisuihin sekä kappaleessa 3.2 esitettyihin suunnittelupaksuuksiin. Suoritettujen vertailujen perusteella aineistosta rajattiin pois epäedustavat osa-aineistot. Laskentaa varten valittiin luotettavuuden perusteella taulukossa 4.2 esitetty 18 olemassa olevaa rakennuskantaa edustavaa elementtityyppiä. Elementtityypin nimen perässä on ilmoitettu suluissa havaintoaineiston koko, n havaintoa. Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien ulkokuorille lasketut tunnusluvut sekä havaintoaineiston jakaumat on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 4.2: Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat aineistot (n=aineiston suuruus)

Aineiston lajittelussa käytettyjen termien merkitykset:

-
- *ruutu*, ei-kantava ruutuelementti
 - *umpi*, kantava umpielementti
 - *harjattu*, harjattupintainen elementti
 - *muotti*, muottipintainen elementti
 - *pesu*, pesubetonipintainen elementti
 - *tiili*, tiililaattapintainen elementti

1960 - 1971

Ruutu, harjattu (n= 83 kpl)
 Umpi, harjattu (n= 115 kpl)
 Ruutu, muotti (n= 26 kpl)
 Umpi, muotti (n= 80 kpl)

1972 - 1976

Ruutu, harjattu (n= 132 kpl)
 Umpi, harjattu (n= 164 kpl)
 Ruutu, muotti (n= 24 kpl)
 Umpi, muotti (n= 24 kpl)
 Ruutu, pesu (n= 62 kpl)
 Umpi, pesu (n= 103 kpl)

1977 - 1987

Ruutu, harjattu (n= 118 kpl)
 Umpi, harjattu (n= 182 kpl)
 Ruutu, muotti (n= 30 kpl)
 Umpi, muotti (n= 53 kpl)
 Ruutu, pesu (n= 130 kpl)
 Umpi, pesu (n= 157 kpl)
 Ruutu, tiili (n= 43 kpl)
 Umpi, tiili (n= 96 kpl)

BeKo-tietokannan ulkokuoren betonipaksuutta kuvaavissa havainnoissa on havaittavissa selvästi enemmän hajontaa kuin eristepaksuuksien havainnoissa. Hajonta on selitettävissä jo aikaisemmin mainitulla valmistusprosessien erolla, lämmöneriste on tehtaassa koneellisesti valmistettu mittatarkka tuote kun taas betonikuoret ovat

työntekijän muottiin valamia kerroksia. Kuntotutkimuksen yhteydessä otettu näyte ei myöskään edusta koko elementin ulkokuoren paksuutta, vaan ainoastaan näytteenottokohdan paksuutta. BeKo-tietokannan laajan havaintoaineiston ansiosta voidaan havaintojen perusteella kuitenkin muodostaa tutkimuksen kannalta riittävän hyvä kuva julkisivuelementtien ulkokuoren paksuuden vaihteluvälistä. [22]

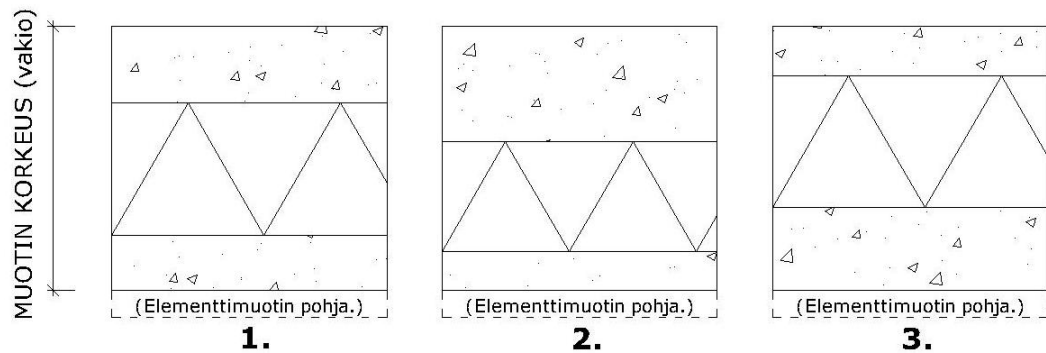
Rakennekerroksien paksuuksien vaihtelut on otettu huomioon laskentamallissa, jotta tutkimuksen yhteydessä käytetyt olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit edustaisivat mahdollisimman laajasti reaaliaailman tilannetta. Tutkimuksessa käytetyt elementit muodostettiin laskemalla jokaiselle valitulle elementtityypille kolme eri variaatiota. Ensimmäinen käytetty yhdistelmä on kaikille kahdeksalletoista elementtityypeille sama ja se perustuu ulkokuoren ja lämmöneristekerroksen yleisimpään BeKo-tietokannassa ilmoitettuun arvoon eli moodiin. Muut käytetyt yhdistelmät perustuvat elementin valmistustekniikkaan, sekä eri elementtityyppien havaintoaineistoista laskettuihin ulkokuoren ja lämmöneristeen paksuutta kuvaaviin tunnuslukuihin. Laskennassa käytetyt tunnusluvut ovat keskiarvon ja keskihajonnan erotus ($ka. - S$) sekä summa ($ka. + S$). Tutkimuksessa käytetyistä ulkokuoren betonipaksuuden havainnoista 58,3...80,0% sijoittuu keskihajonnan päähän kyseisen havaintoaineiston keskiarvosta. Taulukossa 4.3 on esitetty laskennassa käytettyjen elementtien muodostamisperiaate.

Taulukko 4.3: Olemassa olevaa rakennuskantaa kuvaavien elementtien laskentavariaatiot.

Elementin valusuunta:	Laskennassa käytetty arvo	
	Ulkokuori	Lämmöneriste
ulkokuori alaspäin		
Yhdistelmä 1	moodi	moodi
Yhdistelmä 2	$ka. - S$	$ka. - S$
Yhdistelmä 3	$ka. + S$	$ka. + S$
ulkokuori ylöspäin		
Yhdistelmä 1	moodi	moodi
Yhdistelmä 2	$ka. + S$	$ka. - S$
Yhdistelmä 3	$ka. - S$	$ka. + S$

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavista elementeistä ulkokuori ylöspäin on valmistettu harjattupintaiset elementit. Muut elementit (muottipintainen, pesubetonipintainen sekä tiililaattapintainen) on valmistettu ulkokuori alaspäin. Laskennassa on oletettu, että muottitekniikan ansiosta elementin kokonaispaksuus vastaa kyseisellä aikakaudella käytössä ollutta, kappaleessa 3.2 esitettyä elementin suunnittelupaksuutta. Mikäli elementti valetaan ulkokuori alaspäin, aiheuttaa paksu ulkokuori sen, että viimeisenä valettava sisäkuori jää ohuemmaksi ja massaltaan pienem-

mäksi. Ohuempi sisäkuori kuormittaa lämmöneristettä vähemmän ja eristekerroksen kokoonpuristuma on vähäisempää. Tämän ajatusmallin perusteella on luotu ulkokuori alaspäin valettavien elementtien yhdistelmä 3. Sama ajatusmalli pätee myös elementteihin, joiden sisäkuori valetaan ensin. Nyt mikäli ensin valettu sisäkuori on paksu, on lämmöneristekerroksen kokoonpuristuma vähäistä, sillä eristekerrosta kuormittava ulkokuori jää ohueksi ja massaltaan pieneksi (ulkokuori ylöspäin, yhdistelmä 3). Vastaavasti jos ensin valetun betonikuoren paksuus on normaalia pienempi, seuraa siitä normaalia paksumpi ja raskaampi viimeisenä valettava kuori, joka kuormittaa enemmän lämmöneristettä ja aiheuttaa lämmöneristekerrokseen suuremman kokoonpuristuman (ulkokuori alaspäin, yhdistelmä 2 ja ulkokuori ylöspäin, yhdistelmä 2). Laskennassa on käytetty paksulle rakennekerrokselle arvoa ($ka. + S$) ja ohuelle arvoa ($ka. - S$). [16] Kuvassa 4.1 on esitetty laskennassa käytetyt yhdistelmät ulkokuori alaspäin valetulle elementille.



Rakenne 1.:

Rakenteen rakennekerrokset perustuvat yleisimpiin arvoihin (moodi). Yhdistelmä on lähinnä aikakaudelle tyypillisiä suunnittelupaksuuksia.

Rakenne 2.:

Ensin valettu ulkokuori on ohut ($ka. - S$). Viimeisenä valettu sisäkuori muodostuu paksummaksi ja massaltaan suureksi. Raskas sisäkuori kuormittaa lämmöneristettä, jonka kokoonpuristuma kasvaa (laskennassa käytetty lämmöneristeelle arvoa $ka. - S$).

Rakenne 3.:

Ensin valettu ulkokuori on paksu ($ka. + S$). Viimeisenä valettu sisäkuori jää ohueksi ja massaltaan pieneksi. Lämmöneristeen kokoonpuristuma on vähäistä (laskennassa käytetty lämmöneristeelle arvoa $ka. + S$).

Elementin valusuunta on kuvassa alhaalta ylöspäin.

Kuva 4.1: Ulkokuori alaspäin valetun elementin variaatiot.

BeKo-tietokannan havainnoista muodostettuja ulkokuori-lämmöneriste yhdistelmiä verrattiin kuvissa 3.1 ja 3.2 esitettyihin elementtien suunnittelupaksuuksiin. Sisäkuoren rakennepaksuus korjattiin niin, että elementin kokonaispaksuus vastaa valmistusajankohtana käytössä ollutta elementin suunnittelupaksuutta. Laskentaa varten muodostettiin näiden arvojen sekä edellä mainittujen rakennepaksuus yhdistelmien perusteella yhteensä 3x18 eli 54 kpl olemassa olevaa rakennuskantaa kuvaavia elementtejä. Elementeistä 12 kpl edustaa 1960 - 1971 valmistuneita rakennuksia, 18 kpl 1972-1976 valmistuneita rakennuksia ja 24 kpl 1977-1987 valmistuneita rakennuksia. Elementtien rakennekerroksien paksuudet ja ilmaääneneristyslaskennassa tarvittavat tiedot on esitetty liitteessä 2.

Laskentaa varten muodostetut elementit edustavat tutkittavien ilmiöiden kannalta laaja-alaisesti olemassa olevaa rakennuskantaa. Laskennan tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että valituissa rakennekerroksissa ja näin myös laskennan tuloksissa korostuu yleisimmän havainnon lisäksi keskihajonnan ja keskiarvon avulla lasketut arvot. Vaikka menetelmä ei kata kaikkia havaintoja, kattaa se laskentamenetelmästä johtuen riittävän suuren osan rakennuskannasta. Käytetyistä menetelmistä johtuen myöhemmin esitettyjen tuloksien jakauma ei vastaa olemassa olevaa rakennuskantaa, vaan tulokset edustavat olemassa olevien rakenteiden vaihtelua käytetyn valintamenetelmän mukaisesti.

5. ILMAÄÄNENERISTÄVYYDEN LASKENTA

5.1 ILPO - ilmaääneneristävyyden laskenta -laskentataulukko

Tutkimuksessa käytettyjen rakenteiden ilmaääneneristysluku R_w sekä korjaustermit tieliikennemelua (C_{tr}) ja lento- ja raideliikennemelua vastaan (C) laskettiin Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy:n kehittämällä Microsoft Excel -pohjaisella *ILPO - Ilmaääneneristävyyden laskenta* -laskentataulukolla. Ilmaääneneristävyyden laskennallinen tarkastelu tarjoaa tehokkaan työkalun tarkastella laaja-alaisesti eri ratkaisuiden vaikutusta ilmaääneneristävyyteen. Nykyään olemassa olevan tiedon perusteella rakenteen ilmaääneneristiskyky pystytään määrittelemään laskennallisesti hyvin tarkasti. Laskenta mahdollistaa useiden eri vaihtoehtojen tarkastelun verrattuna siihen, että rakenteiden ilmaääneneristiskyky pitäisi määritellä laboratoriomittauksilla. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa tarkasteltujen rakenteiden ilmaääneneristiskyvyn tutkiminen mittaamalla laboratoriossa vaatisi useiden kymmenien seinärakenteiden valmistamisen ja mittaamisen. [15]

Tavallisesti rakenne eristää ääntä sitä paremmin, mitä suurempi sen massa on tai mitä suurempi taajuus on kyseessä. Näihin perussääntöihin on kuitenkin olemassa lukuisia poikkeuksia, jotka johtuvat muun muassa rakenteiden ja materiaalien ominaisuuksista ja liitoksista. Rakenteilla on myös niiden ominaisuuksista määräytyviä rajataajuuksia, joiden kohdalla rakenteen ilmaääneneristiskyky heikkenee ja käytös muuttuu. Tästä syystä ilmaääneneristiskyvyn eroja tulee tarkastella yksilukuisen tunnusluvun lisäksi myös taajuuskaistoittain. [15] [7]

Tutkimusta varten ILPO-taulukolla suoritetuissa laskelmissa rakenteen ilmaääneneristiskyky on laskettu kolmannesoktaavikaistoittain ($R_{1/3}$) taajuusvälillä 50-5000 Hz. Ilmaääneneristysluku (R_w) määritellään kolmannesoktaavikaistoittain lasketuista tuloksista taajuusalueella 100-3150 Hz standardin ISO 717-1 mukaisesti. Laskentataulukko ottaa huomioon rakenteiden materiaaliominaisuudet, rakennekerrosten paksuuden sekä kerrosten välissä olevien ilmapäliinien ominaisuudet, ilmapäliin paksuuden sekä tyhjän ja absorptiomateriaalilla täytetyn ilmapäliin käyttäytymisen erot. Laskentataulukko ottaa huomioon myös rakennekerrosten liitosten vaikutuksen rakenteen käyttäytymiseen. Laskennassa käytettävissä olevat liitostyypit on esitetty taulukossa 5.1. [15] [23]

Taulukossa 5.1 esitettyjen liitoksien ominaisuudet kuten liitoseristeen dynaaminen jäykkyys (liitos 5.), tiheys (liitos 5.), vaimennussuhde (liitos 5.), rankaväli (liitos

Taulukko 5.1: ILPO-laskentataulukon liitostyypit

1.	päällekkäisten kerrosten välinen ruuviliitos
2.	päällekkäisten kerrosten välinen liimaliitos
3.	kahden toisiinsa kytkemättömän kerroksen välissä ilmaväli <i>ilmaväli voi olla tyhjä tai absorptiomateriaalilla täytetty. Täytön osuus (0 – 100%) voidaan määritellä erikseen.</i>
4.	kaksi toisiinsa rangoilla kytkettyä kerrosta <i>ranka voi olla jäykkä tai joustava. Kerrosten välinen ilmaväli voi olla tyhjä, osittain tai kokonaan absorboivalla eristeellä täytetty.</i>
5.	kaksi toisiinsa jäykällä eristeellä kytkettyä kerrosta <i>liitos on määritetty erikseen kellevalle sandwich-rakenteelle, jossa eristeen ja kerrosten välillä ei ole tartuntaa sekä perinteiselle sandwich-rakenteelle jossa eristeen ja kerrosten välillä on tartunta.</i>

4.) tai liitoksen paksuus (liitos 4.) ovat erikseen määriteltävissä. Rakennusakustiikkaa käsiteltäessä liitoksella tarkoitetaan äänen siirtymisreittejä eri rakennekerroksien välillä. Liitosominaisuudet vaikuttavat siihen, kuinka paljon ääni vaimenee siirtyessään rakennekerroksesta toiseen. [15]

Laskentataulukko mahdollistaa myös laskennassa käytettyjen materiaalien ominaisuuksien muuttamisen, sillä laskentataulukon käyttöliittymä sisältää erilliset tietokannat rakennusmateriaaleille, liitoksille ja rankarakenteille. Määriteltäviä rakennusominaisuuksia ovat muun muassa tiheys, kimmomoduuli, sisäinen häviökerroin ja Poisson'n vakio. Käyttöliittymässä on materiaalikirjastojen lisäksi omat välilehdet laskentamallille sekä tuloksille. Laskenta-välilehdellä on esitetty laskennassa käytetyt rakennekerrokset, niiden väliset liitokset sekä liitoksien, materiaalien ja koko rakenteen akustiseen käyttäytymiseen vaikuttavia ominaisuuksia. Laskentatulokset on esitetty sekä oktaavi- että kolmannesoktaavikaistaisesti. Numeerisesti esitettyjen tuloksien lisäksi laskentataulukko piirtää tulokset sekä vertailukäyrän samaan kuvaajaan. Kuvaaja helpottaa tuloksien tulkintaa ja vertailua. [15]

Laskentataulukon muunneltavuus mahdollistaa hyvin erilaisten rakenneratkaisuiden mallintamisen. ILPO-laskentataulukon avulla voidaan määritellä ilmaääneneristysluku $R_w \pm 2$ dB tarkkuudella, joka vastaa yleisesti laboratoriomittausten tarkkuutta. Lähtötietojen valintaan tulee kuitenkin kiinnittää erityisesti huomiota, jotta laskentamalli vastaa reaali maailman rakenteen käyttäytymistä ja laskennan tulokset ovat luotettavia. Huonosti valitut tai virheelliset lähtötiedot saattavat johtaa laskennassa huomattavasti virheelliseen lopputulokseen. Käyttäjän laajaa vaikutusmah-

dollisuutta voidaan kuitenkin pitää ILPO-laskentataulukon hyvänä puolena, sillä useista laskentaohjelmista poiketen laskentataulukon käyttäjä pystyy tarkastamaan laskennassa käytetyt materiaaliarvot. [15] Tämän tutkimuksen yhteydessä käytettyjen laskentamallien vastaavuus laboratoriomittauksiin on pyritty varmistamaan saatavilla olevien mittaustulosten avulla. Tutkimuksessa käsiteltävien rakenteiden mittaustuloksia, joissa on ilmoitettu rakennekerrokset ja niiden ominaisuudet, on kuitenkin huonosti saatavilla.

5.2 Ilmaääneneristysluvun määrittäminen

Ilmaääneneristysluvut R_w ja R'_w määritetään vertailukäyrämenetelmän avulla taajuuskaistaisista eristävyyksistä. Menetelmä on sama riippumatta siitä, onko taajuuskaistaiset tulokset saatu laskemalla tai mittaamalla, laboratoriossa tai olemassa olevasta rakennuksesta. Merkintätapa R_w kuvaa rakennusosan ilmaääneneristyslukua, joka on joko laskettu tai mitattu laboratoriossa. R_w merkinnällä ilmoitettu ilmaääneneristysluku ei sisällä sivuteiden vaikutusta. Merkintä R'_w kuvaa laskemalla tai mittaamalla määritetty ilmaääneneristysluku, jossa on mukana myös sivutiesiirtymän vaikutus. R'_w merkintä viittaa yleensä kahden tilan väliseen ilmaääneneristykseen. [7]

Ilmaääneneristysluku voidaan määrittää joko oktaavikaistaisista tuloksista tai kolmannesoktaavikaistaisista tuloksista. Kaikki tämän tutkimuksen yhteydessä mitatut sekä lasketut ilmaääneneristysluvut on määritetty kolmannesoktaavikaistaisista tuloksista, jotka on laskettu tai mitattu taajuusalueella 50...5000 Hz. Ilmaääneneristysluvun määrittäminen vertailukäyrämenetelmällä on esitetty standardissa ISO 717-1 [23] sekä lukuisissa alan kirjoissa. [7]

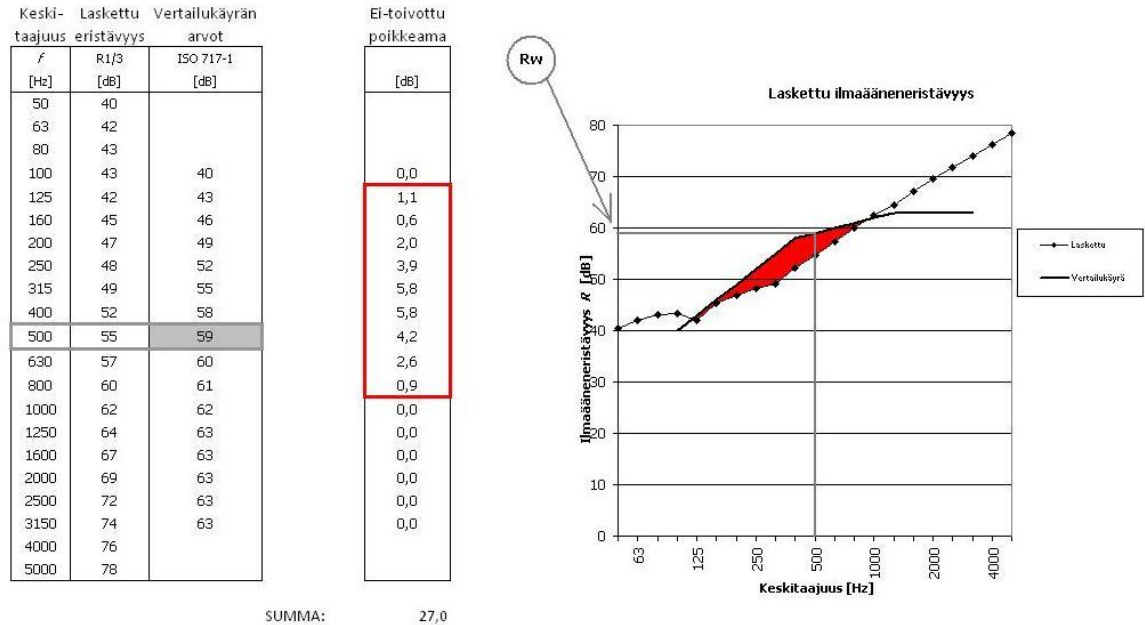
Vertailukäyrä on alun perin kehitetty kuvaamaan puheäänien aistimista. Tästä syystä liikenteen aiheuttamille matalataajuuksisille, puheäänestä poikkeavalle meluille on kehitetty omat spektripainotuserminsä C ja C_{tr} . Taulukossa 5.2 on esitetty kolmannesoktaavikaistaiset vertailukäyrän arvot ilmaääneneristysluvun ollessa 52 dB. Vertailukäyrän arvot on esitetty taajuusalueella 100...3150 Hz. Ilmaääneneristysluku määritellään tämän 16 kolmannesoktaavia käsittävän taajuusalueen kohdalla. Taajuusalueen ulkopuolisia mitattuja tai laskettuja tuloksia ei oteta huomioon ilmaääneneristyslukua määritettäessä. [7]

Taulukko 5.2: Vertailukäyrän arvot ilmaääneneristysluvun (R_w / R'_w) ollessa 52 dB.

Keskitaajuus [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500
Vertailukäyrän arvo [dB]	33	36	39	42	45	48	51	52

Keskitaajuus [Hz]	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Vertailukäyrän arvo [dB]	53	54	55	56	56	56	56	56

Ilmääneneristysluvun määrittäminen vertailukäyrän avulla on esitetty kuvassa 5.1. Kuvassa on esitetty rakenteen laskettu kolmannesoktaavikaistainen eristävyys, vertailukäyrän arvot ilmääneneristysluvun ollessa 59 dB, ei-toivottu poikkeama sekä laskettu ilmääneneristyskäyrä ja vertailukäyrä samaan koordinaatistoon piirrettynä.



Kuva 5.1: Ilmääneneristysluvun määrittäminen.

Ilmääneneristysluku määritellään siirtämällä vertailukäyrää 1 dB kerrallaan sen muotoa muuttamatta, kunnes taajuuskaistaisen tuloksen ja vertailukäyrän välisten ei-toivottujen poikkeamien summa on korkeintaan 32 dB. Ei-toivottu poikkeama muodostuu kun vertailukäyrä on tuloksen perusteella piirretyn käyrän yläpuolella. Kuvassa 5.1 ei-toivotun poikkeaman alue on merkitty punaisella. Mikäli vertailukäyrää siirrettäisiin nykyisestä kohdasta 1 dB ylöspäin, kasvaisi ei-toivottu poikkeama arvosta 27,0 dB arvoon 36,6 dB. Näin ollen vertailukäyrä on nyt korkeimmassa mahdollisessa kohdassa joka täyttää ilmääneneristysluvun määrittämisen ehdot. [23] [7]

Ilmääneneristysluku määritetään vertailukäyrältä 500 Hz kohdalta, kun vertailukäyrä on siirretty ylimpään mahdolliseen asemaan edellä kuvatulla tavalla. Kuvassa 5.1 esitetyistä tuloksista määriteltynä ilmääneneristyslukuksi saadaan 59 dB. [7]

Spektripainotustermit C ja C_{tr} lasketaan standardissa ISO 717-1 esitetyllä tavalla ja voidaan laajentaa käsittämään ilmääneneristyslukua suuremman taajuusalueen. Tämän tutkimuksen yhteydessä esitetyt spektripainotustermit käsittävät saman taajuusalueen kuin ilmääneneristysluku (100...3150 Hz). Spektripainotustermit on laskettu samalla ohjelmalla tai laskentataulukolla, kuin niihin liittyvä ilmääneneristyslukukin. [23] [7] [15]

5.3 Alkuperäisten rakenteiden ilmaääneneristävyyden laskenta

BeKo-tietokannan perusteella kappaleessa 4.2 esitetyllä tavalla luotujen alkuperäistä rakennuskantaa edustavien elementtien ilmaääneneristyskyky laskettiin ILPO-laskentataulukolla. Laskenta suoritettiin taajuusalueella 50...5000 Hz kappaleessa 5.1 esitetyllä tavalla. Laskentamallina käytettiin sandwich-rakennetta, jossa ulko- ja sisäkuori on kytkettynä toisiinsa ansailla. Betonikuorien välissä on ansaiden lisäksi villa. Laskennassa käytettiin taulukon 5.3 mukaisia materiaalitietoja. [29]

Taulukko 5.3: Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien materiaaliominaisuudet.

Ulkokuoren betoni 1960 - 1987

Lujuusluokka: K25 Tiheys: 2500 kg/m³ Kimmomoduuli: 25 000 MPa

Lämmöneristekerros

Lämmöneristeeksi on oletettu pehmeä villa.

Villan ominaisuudet eivät vaikuta merkittävästi betonisandwich-elementin ilmaääneneristyskykyyn, sillä villa toimii lähinnä kuorten väliin jäävän raon vaimennusmateriaalina. Sen sijaan ulko- ja sisäkuoren toisiinsa liittäville ansailla on selvä vaikutus elementin ilmaääneneristyskykyyn. Laskennassa ansaille käytettiin 10000000000 MN/m² dynaamista jäykkyyttä materiaalipaksuuden ollessa 100 mm (täysin jäykkä liitos).

Lämmöneristeen tiheydelle käytettiin laskennassa arvoa 50 kg/m³.

Sisäkuoren betoni 1960 - 1976

Lujuusluokka: K20 Tiheys: 2500 kg/m³ Kimmomoduuli: 22 000 MPa

Sisäkuoren betoni 1977 - 1987

Lujuusluokka: K25 Tiheys: 2500 kg/m³ Kimmomoduuli: 25 000 MPa

Laskennan tulokset on esitetty taulukoissa 5.4, 5.5 ja 5.6. Aikakauden eri elementtityyppien tulokset on eroteltu elementtityypin mukaan annetulla otsikolla. Taulukon kohdassa *rakenne* on esitetty mitä laskenta-arvoa ulkokuoren ja lämmöneristekerroksen paksuudelle on käytetty (ulkokuori / eriste, moodi | ka + S | ka - S).

Jokaisen olemassa olevaa rakennuskantaa kuvaavan elementin kolmannesoktaavikaistaiset tulokset, sekä niistä piirretty kuvaajat on esitetty elementtikohtaisesti liitteessä 3. Tuloksissa esitetty ilmaääneneristysluku R_w ja ilmaääneneristysluvun korjaustermit C sekä C_{tr} kuvaavat sandwich-elementin betonista ja villasta koostuvan rakenteen ilmaääneneristyskykyä. Koko rakennusosan ilmaääneneristyskykyä tarkasteltaessa on otettava huomioon betonielementin lisäksi myös siihen liittyvät rakenteet kuten ikkunat ja korvausilmaventtiilit.

5.3.1 Ääneneristyslaskennan tulokset 1960-1971

Taulukossa 5.4 on esitetty laskennan tulokset vuosina 1960-1971 valmistuneita rakennuksia edustaville elementeille. Elementtien kolmannesoktaavikaistaiset tulokset on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 5.4: ILPO-laskennan mukaiset R_w -arvot

1960 - 1971

Ruutu, harjattu	R_w	C	C_{tr}
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	50	-1	-3
Rakenne 2. $ka + S$ / $ka - S$	52	-1	-3
Rakenne 3. $ka - S$ / $ka + S$	49	0	-2
Umpi, harjattu			
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	57	-1	-4
Rakenne 2. $ka + S$ / $ka - S$	58	-1	-4
Rakenne 3. $ka - S$ / $ka + S$	58	-1	-4

Ruutu, muotti	R_w	C	C_{tr}
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	50	-1	-3
Rakenne 2. $ka - S$ / $ka - S$	52	-1	-3
Rakenne 3. $ka + S$ / $ka + S$	50	0	-2
Umpi, muotti			
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	58	-1	-4
Rakenne 2. $ka - S$ / $ka - S$	60	-1	-5
Rakenne 3. $ka + S$ / $ka + S$	56	-1	-5

Kaikki ruutuelementtien tulokset ovat välillä $R_w = 49...52$ dB keskiarvon ollessa 51 dB. Vastaavasti kaikki umpielementtien tulokset ovat välillä $R_w = 56...60$ dB keskiarvon ollessa 58 dB. Tieliikennemelun korjaustermillä korjatut ruutuelementtien tulokset vaihtelevat välillä $R_w + C_{tr} = 47...49$ dB keskiarvon ollessa 48 dB ja umpielementtien tulokset välillä $R_w + C_{tr} = 51...55$ dB keskiarvon ollessa 54 dB. Kantavuuden perusteella samankaltaisten elementtien tulosten vaihteluväli on hyvin pieni, ainoastaan 2...4 dB laskentatarkkuuden ollessa ± 2 dB. Havainto koskee sekä ilmaaneneristyslukua että tieliikennemelun korjaustermillä korjattua ilmaaneneristyslukua.

5.3.2 Ääneneristyslaskennan tulokset 1972-1976

Taulukossa 5.5 on esitetty laskennan tulokset vuosina 1972-1976 valmistuneita rakennuksia edustaville elementeille.

Taulukko 5.5: ILPO-laskennan mukaiset R_w -arvot

1972 - 1976

Ruutu, harjattu	R_w	C	C_{tr}
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	52	-1	-4
Rakenne 2. $ka + S$ / $ka - S$	52	0	-3
Rakenne 3. $ka - S$ / $ka + S$	50	0	-2
Umpi, harjattu			
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	59	-1	-4
Rakenne 2. $ka + S$ / $ka - S$	59	-1	-4
Rakenne 3. $ka - S$ / $ka + S$	58	-1	-4

Ruutu, muotti	R_w	C	C_{tr}
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	52	-1	-3
Rakenne 2. $ka - S$ / $ka - S$	53	-1	-4
Rakenne 3. $ka + S$ / $ka + S$	52	-1	-3
Umpi, muotti			
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	59	-1	-4
Rakenne 2. $ka - S$ / $ka - S$	60	-1	-4
Rakenne 3. $ka + S$ / $ka + S$	56	-1	-5

Ruutu, pesu	R_w	C	C_{tr}
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	52	-1	-4
Rakenne 2. $ka - S$ / $ka - S$	53	-1	-3
Rakenne 3. $ka + S$ / $ka + S$	51	0	-2
Umpi, pesu			
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	59	-1	-4
Rakenne 2. $ka - S$ / $ka - S$	60	-1	-4
Rakenne 3. $ka + S$ / $ka + S$	56	-1	-4

Kaikki ruutuelementtien tulokset ovat välillä $R_w = 50...53$ dB keskiarvon ollessa 52 dB. Vastaavasti kaikki umpielementtien tulokset ovat välillä $R_w = 56...60$ dB keskiarvon ollessa 58 dB. Tieliikennemelun korjaustermillä korjatut ruutuelementtien tulokset vaihtelevat välillä $R_w + C_{tr} = 48...50$ dB keskiarvon ollessa 49 dB ja umpielementtien tulokset välillä $R_w + C_{tr} = 51...56$ dB keskiarvon ollessa 54 dB. Kantavuuden perusteella samankaltaisten elementtien tulosten vaihteluväli on hyvin pieni, ainoastaan 2...5 dB laskentatarkkuuden ollessa ± 2 dB. Havainto koskee sekä ilmaääneneristyslukua että tieliikennemelun korjaustermillä korjattua ilmaääneneristyslukua.

5.3.3 Ääneneristyslaskennan tulokset 1977-1987

Taulukossa 5.6 on esitetty tulokset vuosina 1977-1987 valmistuneita rakennuksia edustaville elementeille.

Taulukko 5.6: ILPO-laskennan mukaiset R_w -arvot

1977 - 1987

Ruutu, harjattu	R_w	C	C_{tr}
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	53	-1	-4
Rakenne 2. $ka + S$ / $ka - S$	55	-1	-4
Rakenne 3. $ka - S$ / $ka + S$	54	-1	-4
Umpi, harjattu			
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	61	-2	-5
Rakenne 2. $ka + S$ / $ka - S$	62	-1	-5
Rakenne 3. $ka - S$ / $ka + S$	61	-1	-5

Ruutu, muotti	R_w	C	C_{tr}
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	53	-1	-4
Rakenne 2. $ka - S$ / $ka - S$	56	-1	-4
Rakenne 3. $ka + S$ / $ka + S$	53	-1	-3
Umpi, muotti			
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	61	-1	-5
Rakenne 2. $ka - S$ / $ka - S$	62	0	-4
Rakenne 3. $ka + S$ / $ka + S$	59	-1	-5

Ruutu, pesu	R_w	C	C_{tr}
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	53	-1	-3
Rakenne 2. $ka - S$ / $ka - S$	56	-1	-4
Rakenne 3. $ka + S$ / $ka + S$	53	-1	-4
Umpi, pesu			
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	61	-2	-5
Rakenne 2. $ka - S$ / $ka - S$	63	-1	-5
Rakenne 3. $ka + S$ / $ka + S$	59	-1	-4

Ruutu, tiili	R_w	C	C_{tr}
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	53	-1	-3
Rakenne 2. $ka - S$ / $ka - S$	55	-1	-4
Rakenne 3. $ka + S$ / $ka + S$	54	-1	-3
Umpi, tiili			
Rakenne 1. <i>moodi</i> / <i>moodi</i>	59	-1	-5
Rakenne 2. $ka - S$ / $ka - S$	62	-1	-5
Rakenne 3. $ka + S$ / $ka + S$	58	-1	-5

Kaikki ruutuelementtien tulokset ovat välillä $R_w = 53...56$ dB keskiarvon ollessa 54 dB. Vastaavasti kaikki umpielementtien tulokset ovat välillä $R_w = 58...63$ dB keskiarvon ollessa 61 dB. Tieliikennemelun korjaustermillä korjatut ruutuelementtien tulokset vaihtelevat välillä $R_w + C_{tr} = 49...52$ dB keskiarvon ollessa 50 dB ja umpielementtien tulokset välillä $R_w + C_{tr} = 53...58$ dB keskiarvon ollessa 56 dB. Kantavuuden perusteella samankaltaisten elementtien tulosten vaihteluväli on hyvin pieni, ainoastaan 3...5 dB laskentatarkkuuden ollessa ± 2 dB. Havainto koskee sekä ilmaääneneristyslukua että tieliikennemelun korjaustermillä korjattua ilmaääneneristyslukua.

5.4 Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien ääneneristyslaskennan tuloksien tulkinta

Tietyn aikakauden kantavuudeltaan samantyyppisten elementtien laskentatulokset ovat hyvin lähellä toisiaan, kummankin tutkimuksen kannalta oleellisen mittaluvun tapauksessa. Tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että BeKo-tietokannasta muodostettujen elementtien rakennekerroksien paksuudet vaihtelevat, mutta betonin määrä pysyy tietyn aikakauden ja kantavuustyyppin elementeissä lähes vakiona, sillä käytetyt lämmöneristepaksuudet ja rakenteen kokonaispaksuus ovat samoja. Taulukossa 5.7 on esitetty laskennassa käytettyjen elementtien ulko- ja sisäkuoren paksuuden summa.

Betonin määrällä ja tätä kautta elementin massalla sekä lisäksi myös massan jakaumalla on vaikutus rakenteen ilmaääneneristyskykyyn. Elementin kuorilla, kuten muillakin levymaisilla rakenteilla on tiettyjä akustisia rajataajuuksia, joista koinsidenssin rajataajuus osuu usein laskennassa käytetylle taajuusalueelle 100...3150 Hz. Koinsidenssin rajataajuuden kohdalla rakenteen ilmaääneneristyskyky heikkenee äkillisesti. Betonielementin ulko- ja sisäkuoren koinsidenssin rajataajuuteen vaikuttaa rakenteen pintamassa, materiaalin kimmomoduuli, rakenteen (kuoren) paksuus, Poissonin luku sekä äänen nopeus ilmassa. [3] Tutkimuksessa käytetyissä, tiettyä aikakautta kuvaavissa rakennevariaatioissa ainoastaan rakennekerroksien paksuudet muuttuvat. Kuorten paksuuksien muutokset vaikuttavat suoraan laskennassa käytettyihin rakennekerroksien pintamassoisiin (\mathbf{m}' [kg/m²]).

Elementin betonikuorten paksuudet ja kuorten paksuuksien suhde vaikuttavat siihen, kuinka kaukana toisistaan ulko- ja sisäkuoren koinsidenssin rajataajuudet ovat. Kuvassa 5.2 on esitetty lasketut ilmaääneneristyskäyrät betonisandwich-elementille, jonka ulko- ja sisäkuoren paksuuksien summa on 160 mm. Ulko- ja sisäkuoren paksuuksina on käytetty arvoja 80 mm / 80 mm, 70 mm / 90 mm, 60 mm / 100 mm, 50 mm / 110 mm sekä 40 mm / 120 mm. Laskenta on suoritettu olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien laskentamallin mukaisesti, betonin lujuusluokan

Taulukko 5.7: Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien betonin kokonaismäärä (mm)

Elementin ulko- ja sisäkuoren yhteenlaskettu paksuus

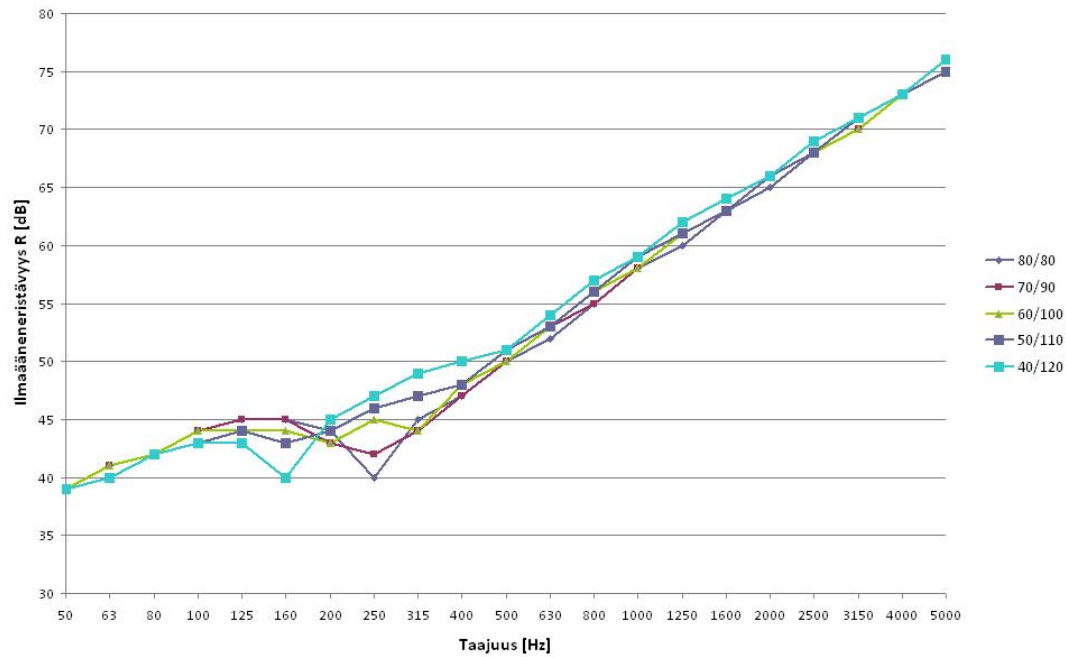
Ruutu-elementit:		1960-1971	1972-1976	1977-1987
harjattu	rakenne 1	105 mm	125 mm	140 mm
	rakenne 2	124 mm	135 mm	166 mm
	rakenne 3	98 mm	104 mm	136 mm
muotti	rakenne 1	105 mm	125 mm	140 mm
	rakenne 2	124 mm	135 mm	166 mm
	rakenne 3	98 mm	104 mm	136 mm
pesu	rakenne 1	-	125 mm	140 mm
	rakenne 2	-	135 mm	166 mm
	rakenne 3	-	104 mm	136 mm
tiili	rakenne 1	-	-	140 mm
	rakenne 2	-	-	166 mm
	rakenne 3	-	-	136 mm

Umpi-elementit:		1960-1971	1972-1976	1977-1987
harjattu	rakenne 1	185 mm	205 mm	220 mm
	rakenne 2	204 mm	215 mm	246 mm
	rakenne 3	178 mm	184 mm	216 mm
muotti	rakenne 1	185 mm	205 mm	220 mm
	rakenne 2	204 mm	215 mm	246 mm
	rakenne 3	178 mm	184 mm	216 mm
pesu	rakenne 1	-	205 mm	220 mm
	rakenne 2	-	215 mm	246 mm
	rakenne 3	-	184 mm	216 mm
tiili	rakenne 1	-	-	220 mm
	rakenne 2	-	-	246 mm
	rakenne 3	-	-	216 mm

ollessa K20. Lämmöneristekerroksen paksuutena on käytetty arvoa 120 mm.

Kuvassa 5.2 esitettyjen elementtien koinssidenssin rajataajuus vaihtelee välillä 175...526 Hz, kuoren paksuuden vaihdellessa välillä 40...120 mm. Koinssidenssin vaikutus rakenteen ilmaääneneristyskykyyn on havaittavissa kuvasta. Taajuusalueen 100...500 Hz ulkopuolella esimerkissä käytetyt elementit käyttäytyvät keskenään lähes samanlaisesti. Sen sijaan taajuusalueella 100...500 Hz, johon esimerkissä käytettyjen elementtien koinssidenssin rajataajuudet sijoittuvat on havaittavissa eroja elementtien ilmaääneneristyskäyrässä. Laskettujen esimerkkirakenteiden perusteella kuorten suhteen vaikutus elementin ilmaääneneristyskykyyn on noin 2 dB, ilmaääneneristysluvun vaihdellessa esimerkkirakenteissa välillä 54...56 dB ja tieliikennemelun korjaustermillä korjatun ilmaääneneristysluvun vaihdellessa välillä 50...52 dB.

Laskentatarkkuus, kuorten suhteen vaikutus sekä laskennassa käytettyjen ele-



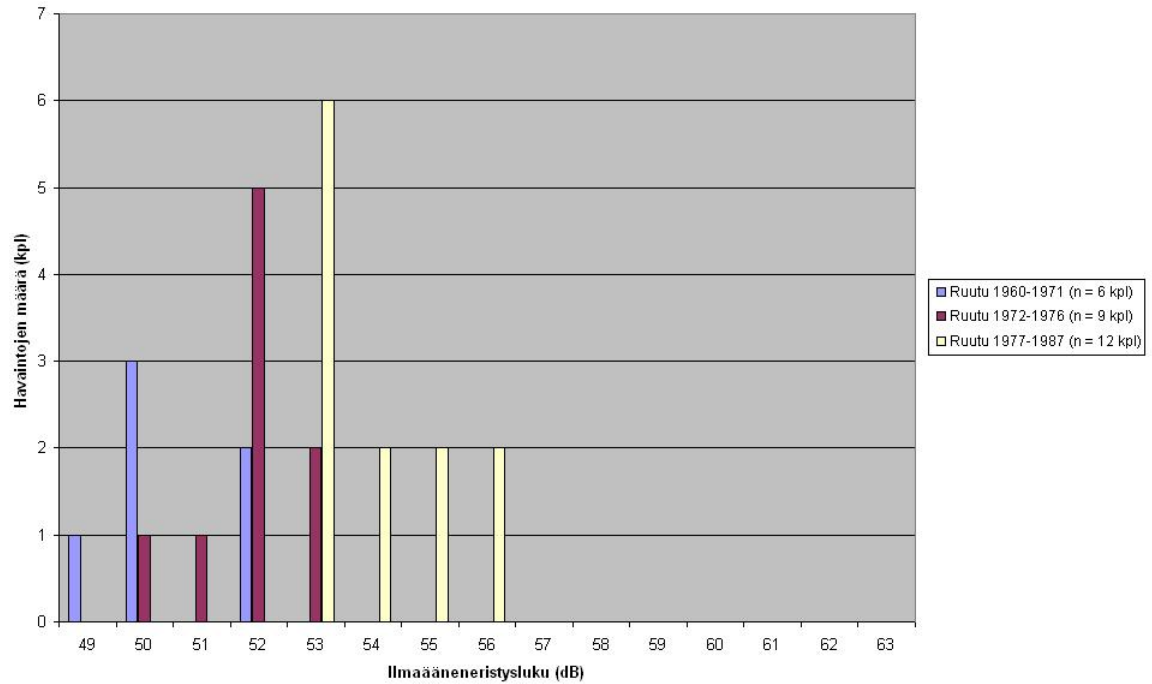
Kuva 5.2: Elementin ulko- ja sisäkuoren suhteen vaikutus elementin ilmaääneneristyskykyyn.

menttien muodostamistapa huomioon ottaen voidaan laskennan tuloksia pitää hyvin olemassa olevaa rakennuskantaa edustavina. Reaalimaailman rakenteissa on havaittavissa vastaavan kaltaisia epävarmuustekijöitä sekä muuttujia, jotka vaikuttavat rakenteen ja rakennusosan ilmaääneneristyskykyyn.

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien laskentatuloksien perusteella kantavuudeltaan samankaltaisten elementtien ilmaääneneristyskyvyssä on lukuisista muuttujista huolimatta havaittavissa melko pientä vaihtelua. Kummankin elementtityypin ilmaääneneristysluku sekä ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan on parantunut hieman tutkimuksen rajauksen aikana.

Verrattaessa vuosien 1960 - 1971 rakennuskantaa edustavia elementtejä vuosia 1972 - 1976 edustaviin elementteihin on elementin ilmaääneneristysluku sekä tieliikennemelun korjaustermillä korjattu ilmaääneneristysluku parantunut 0...2 dB. Muutosta voidaan pitää melko pienenä, sillä ilmaääneneristysluvun määrittämisestä johtuen hyvinkin pieni muutos rakenteen ilmaääneneristyskäyrässä saattaa vaikuttaa rakenteen ilmaääneneristyslukuun. Ilmaääneneristysluvussa havaittu muutos vastaa rakennekerroksiin vaikuttaneiden määräyksien muutosta, sillä vuonna 1972 voimaan tulleet muutokset koskivat ainoastaan lämmöneristekerroksen paksuutta. Elementin massa on näin ollen säilynyt lähes saman suuruisena kummankin tarkasteluajanjakson aikana.

Vuonna 1977 voimaan tulleet rakentamismääräykset vaikuttivat lämmöneristekerroksen lisäksi myös elementin ulkokuoren paksuuteen. Muutos on havaittavissa elementtien ilmaääneneristysluvussa sekä ilmaääneneristysluvussa tieliikennemelua

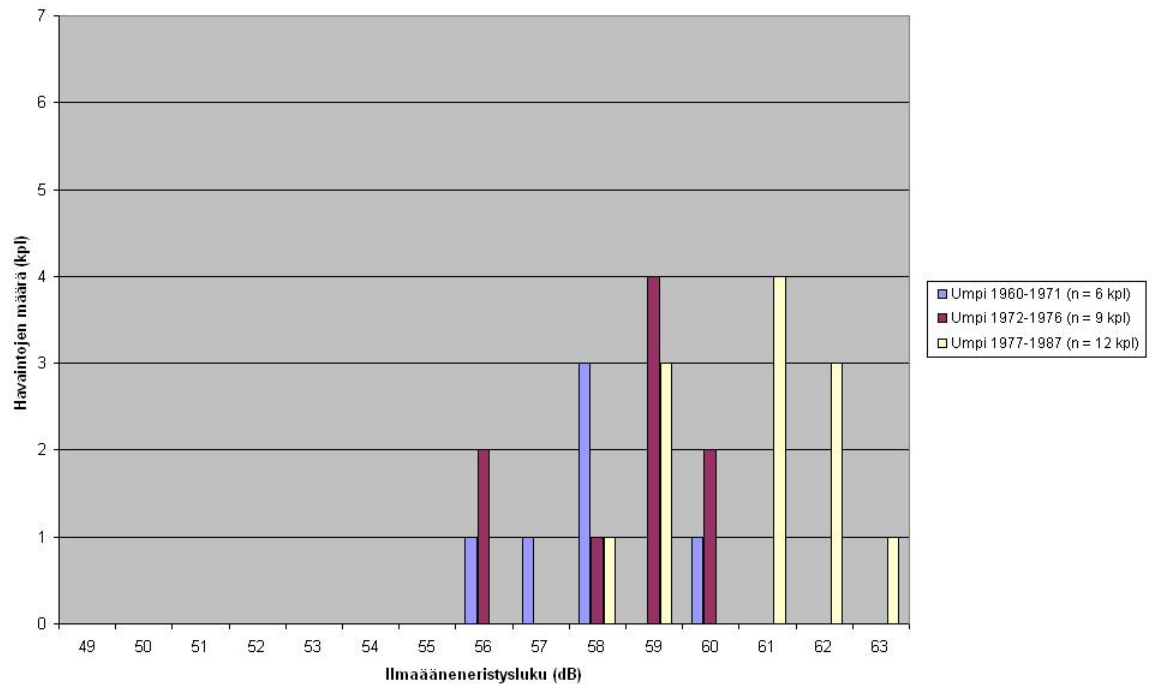
Kuva 5.3: Ruutuelementtien ilmaääneneristysluku R_w .

vastaan. Vuosina 1977-1987 valmistunutta rakennuskantaa edustavien elementtien laskennassa käytetyt ominaisuudet poikkeavat myös aikaisemmin valmistuneiden elementtien ominaisuuksista. Elementin sisäkuoren betonille käytettiin vuosia 1977 - 1987 edustavien elementtien laskennassa lujuusluokan K25 betonia, kun aikaisempia vuosia edustavien elementtien laskennassa on käytetty lujuusluokan K20 betonia.

Verrattaessa vuosina 1972-1976 valmistunutta rakennuskantaa laskennassa edustaneiden elementtien tuloksia laskennassa vuosia 1977-1987 edustaneisiin elementteihin on ilmaääneneristysluku sekä ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan parantunut yleisesti 0...4 dB. Ilmaääneneristysluvun muutos on kuitenkin vähäinen, ottaen huomioon että suunnittelupaksuuksien mukaisen ruutuelementin massa kasvoi noin 17 % ja umpielementin massa noin 10 %. Koko tutkimuksen aikarajauksen aikana betonisandwich-elementin ilmaääneneristyskyky sekä ilmaääneneristyskyky tieliikennemelua vastaan on laskelmien perusteella parantunut 2...5 dB.

Kuvissa 5.3 ja 5.4 on esitetty kappaleissa 5.3.1, 5.3.2 ja 5.3.3 taulukkomuodossa olevat ilmaääneneristysluvun R_w laskentatulokset. Kuvat havainnollistavat ilmaääneneristysluvun kehitystä sekä tulosten hajonnan suuruutta. Laskennassa käytetyt, olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit edustavat rakennuskannasta mitatun yleisimmän arvon lisäksi havaintoaineiston hajontaa. Vaikka BeKotietokannan havaintoaineiston hajonta etenkin ulkokuoria tarkasteltaessa on melko suuri, ovat eri elementtivariaatioiden ilmaääneneristysluvut lähellä toisiaan.

Laskennan tuloksien perusteella saadaan arvio olemassa olevan rakennuskannan



Kuva 5.4: Umpielementtien ilmaääneneristysluku R_w .

julkisivuelementtien ilmaääneneristyskyvystä. Rakentamista ohjaavien määräyksien ansiosta yhtenäistetty elementtituotanto luo havaintojen perusteella myös melko yhtenäisen lähtötilanteen tutkittavien ilmiöiden kannalta koko tutkimuksen aikarajauksen aikana.

5.5 Ulkokuoren purkamisen vaikutus julkisivuelementin ilmaääneneristyskykyyn

Ulkokuoren ja lämmöneristekerroksen purkaminen vähentää julkisivuelementin massaa merkittävästi. Rakenteen massalla on puolestaan suora vaikutus rakenteen ilmaääneneristyskykyyn. Akustiikan kannalta myös rakenteen käyttäytyminen muuttuu kerroksellisen sandwich-rakenteen muuttuessa ulkokuoren purkamisen jälkeen yksinkertaiseksi levymäiseksi rakenteeksi. Verrattaessa yksinkertaisen, massaltaan pienemmän rakenteen ja alkuperäisen betonisandwich-elementin ilmaääneneristyskykyä keskenään on yksinkertaisen sisäkuorirakenteen ilmaääneneristyskyky heikempi kuin alkuperäisen betonisandwich-elementin. [3]

Ilmaääneneristyksen heikentymän suuruuteen vaikuttaa alkuperäisen elementin rakennekerrokset ja materiaaliominaisuudet, sisä- ja ulkokuoren paksuuksien suhde sekä jäljellejäävän sisäkuoren paksuus ja materiaaliominaisuudet. Kappaleessa 4.2 määritettyjen olemassa olevaa rakennuskantaa kuvaavien elementtien ulkokuoren ja lämmöneristeen purkaminen vähentää elementin massaa 21...71 %. Jäljelle jäävän

Taulukko 5.8: Sisäkuoren osuus alkuperäistä rakennuskantaa kuvaavien elementtien massasta.

Elementtityyppi	Aikakausi	Sisäkuoren osuus elementin massasta	
		MIN	MAX
Ei-kantava (ruutu)	1960 - 1971	36,4 % (91 kg/m ²)	61,7 % (193 kg/m ²)
Ei-kantava (ruutu)	1972 - 1976	29,2 % (78 kg/m ²)	59,9 % (205 kg/m ²)
Ei-kantava (ruutu)	1977 - 1987	29,2 % (101 kg/m ²)	68,2 % (286 kg/m ²)
Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien ei-kantavien elementtien pintamassa vaihtelee välillä 249...419 kg/m ² . Suunnittelupaksuuden mukaisen sisäkuoren (70 mm) pintamassa on 175 kg/m ² .			

Elementtityyppi	Aikakausi	Sisäkuoren osuus elementin massasta	
		MIN	MAX
Kantava (umpi)	1960 - 1971	57,5 % (258 kg/m ²)	79,2 % (406 kg/m ²)
Kantava (umpi)	1972 - 1976	46,5 % (217 kg/m ²)	75,2 % (408 kg/m ²)
Kantava (umpi)	1977 - 1987	56,6 % (309 kg/m ²)	78,0 % (483 kg/m ²)
Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien kantavien elementtien pintamassa vaihtelee välillä 449...619 kg/m ² . Suunnittelupaksuuden mukaisen sisäkuoren (150 mm) pintamassa on 375 kg/m ² .			

sisäkuoren massa on siis $n \cdot \frac{1}{4} \dots \frac{3}{4}$ alkuperäisen elementin massasta. Taulukossa 5.8 on esitetty eri aikakausien ruutu- ja umpielementtien sisäkuoren pintamassan osuus elementin kokonaispintamassasta.

Ilmaääneneristysluvun sekä tieliikennemelun korjaustermillä korjatun ilmaääneneristysluvun muutos laskettiin erikseen jokaiselle 54:lle olemassa olevaa rakennuskantaa edustavalle elementille. Taulukossa 5.9 on esitetty ilmaääneneristysluvun (R_w) sekä tieliikennemelun korjaustermillä korjatun ilmaääneneristysluvun ($R_w + C_{tr}$) muutoksen vaihteluväli, kun julkisivuelementin ulkokuori sekä lämmöneristekerros puretaan pois. Elementtikohtaiset laskelmat on esitetty liitteessä 4.

Taulukossa 5.9 esitetyt arvot sisältävät kaikki olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit. Tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että tuloksien jakauma ei vastaa olemassa olevaa rakennuskantaa, sillä laskennan tuloksissa korostuu yleisimmän havainnon lisäksi keskihajonnan ja keskiarvon avulla lasketut arvot. Tuloksien perusteella voidaan kuitenkin määritellä vaihteluväli, joka edustaa suurinta osaa muutoksista. Olemassa olevaa rakennuskantaa kuvaavien elementtien edustavuutta on käsitelty tarkemmin kappaleessa 4.2.

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien, BeKo-tietokannan perusteella muodostettujen elementtien laskentatuloksien hajonta on vähäistä, kun otetaan huo-

Taulukko 5.9: Ilmaääneneristävyyden muutos, kun ulkokuori puretaan pois.

Elementtityyppi		Ilmaääneneristävyyden muutos	
		MIN / MAX	yleisin arvo
ruutu, 1960 - 1971	R_w	5 dB / 9 dB	6 dB
	$R_w + C_{tr}$	6 dB / 10 dB	6 dB
ruutu, 1972 - 1977	R_w	5 dB / 12 dB	5 dB
	$R_w + C_{tr}$	5 dB / 12 dB	6 dB
ruutu, 1978 - 1987	R_w	4 dB / 13 dB	5 dB
	$R_w + C_{tr}$	6 dB / 12 dB	6 dB

Elementtityyppi		MIN / MAX	yleisin arvo
umpi, 1960 - 1971	R_w	3 dB / 5 dB	3 dB
	$R_w + C_{tr}$	3 dB / 5 dB	4 dB
umpi, 1972 - 1977	R_w	2 dB / 7 dB	3 dB
	$R_w + C_{tr}$	4 dB / 6 dB	5 dB
umpi, 1978 - 1987	R_w	2 dB / 4 dB	3 dB
	$R_w + C_{tr}$	2 dB / 6 dB	3 dB

mioon BeKo-tietokannan aineiston hajonta. Ulkokuoren purkamisen vaikutusta elementin ilmaääneneristyskykyyn voidaan myös pitää melko säännöllinen, kaikkien havaittujen muutosten ollessa välillä 2...13 dB. Elementtityyppikohtaisesti tarkasteltuna muutoksen hajonta on 2...9 dB. Tuloksien perusteella ei-kantavilla ruutuelementeillä ilmaääneneristysluku (R_w) pienenee suurimmassa osassa tapauksista 5...9 dB ja tieliikennemelun korjaustermi huomioituna ($R_w + C_{tr}$) 6...9 dB. Vastaavasti umpielementin ilmaääneneristysluku pienenee suurimmassa osassa tapauksista 2...4 dB ja tieliikennemelun korjaustermi huomioituna 3...5 dB.

Ulkokuoren purkamisen vaikutuksesta julkisivuelementin ilmaääneneristyskykyyn saadaan edustava kuva, kun verrataan laskennan tuloksia kappaleessa 5.4 esitettyihin olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien ääneneristyslaskennan tuloksiin. Kummassakin tapauksessa laskennan tuloksien hajonta on vähäistä ja tuloksia voidaan pitää tutkittavien ilmiöiden kannalta luotettavina sekä riittävän edustavina. Ilmaääneneristysluvun (R_w) muutos on tämän tutkimuksen kannalta tunnusluvuista oleellisempi, sillä ilmaääneneristysluvun muutos vaikuttaa tutkimuksessa käsiteltyyn huoneistojen väliseen ilmaääneneristyslukuun (R'_w) sekä sen muutokseen. Tieliikennemelun korjaustermillä korjatun ilmaääneneristysluvun ($R_w + C_{tr}$) muutos ei vaikuta suoraan tutkittaviin ilmiöihin, sillä ulkovaipan äänitasoerolaskelmissa käytetään lopputilanteen, eli korjatun rakenteen arvoja.

6. JULKISIVUJEN KORJAUSVAIHTOEHDOT

6.1 Tutkitut korjausratkaisut

Elementtirakentamisen alkuaikana valmistuneiden rakennuksien julkisivujen korjaustarve on tällä hetkellä merkittävä. Julkisivujen vaurioitumiseen on kiinnitetty huomiota jo pitkään, mutta vaurioitumista sekä korjausmenetelmiä on tutkittu aktiivisesti vasta 1990-luvulta asti. Viime vuosina kiihtyvällä tahdilla yleistyneet julkisivukorjaukset ovat osaltaan nopeuttaneet korjaustekniikan kehitystä. Suorite- tuista korjauksista huolimatta julkisivujen korjausvelka ja -tarve kasvaa kuitenkin koko ajan, eikä kasvu osoita laantumista 1970-luvun huippuvuosina valmistuneiden rakennusten lähestyessä 40 vuoden ikää. [24] [12]

Betonisandwich-julkisivuelementtien korjaamiseksi on kehitetty useita menetelmiä vaurioitumisasteesta riippuen. Julkisivukorjausten yhteydessä on usein tapana parantaa myös rakennuksen teknisiä tai asumisviihtyvyyteen vaikuttavia ominaisuuksia. Parannusta tavoitellaan esimerkiksi lisälämmöneristyksellä, ikkunoiden korjauksilla tai talotekniikan parannuksilla. [25]

Tämä tutkimus rajattiin käsittelemään ainoastaan raskainta betonielementtijulkisivujen korjausvaihtoehtoa, jonka yhteydessä alkuperäisen betonisandwich-elementin ulkokuori puretaan pois ja korvataan uudella julkisivurakenteella. Valittu korjaustapa vaikuttaa tutkimuksen lähtötietojen perusteella eniten julkisivuelementin ominaisuuksiin sekä rakennusakustiikkaan. Tällä perusteella muut korjaustavat rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle. Tutkimuksessa käsiteltyä korjaustapaa sovelletaan pääsääntöisesti pitkälle vaurioituneisiin julkisivuihin, jotka eivät enää sovellu korjaus- alustaksi. Korjausalustaksi vielä soveltuville julkisivuille on suositeltavaa käyttää kevyempää korjausvaihtoehtoa. Kevyempiä julkisivukorjausvaihtoehtoja ovat muun muassa julkisivun uusintapinnoitus (huoltomaalaus), betonipaikkaus tai lisälämmöneristys ja verhous. Korjausvaihtoehto tulisi aina valita julkisivun kunnon sekä ole- massa olevien rakenteiden ja tavoiteltujen teknisten ominaisuuksien perusteella. [25] [26] [27]

Tutkimuksessa käytetyt korjausvaihtoehto voidaan toteuttaa usealla eri tavalla, mutta kaikkien vaihtoehtojen toteutuksessa on sama perusperiaate: purettu ulkokuorirakenne sekä lämmöneristekerros korvataan uudella julkisivurakenteella. Kyseisen korjaustavan toteutuksessa on käytettävissä lukuisia eri lämmöneriste- ja julkisivu- materiaaleja. Tämän tutkimuksen yhteydessä tarkasteltavissa rakenneratkaisuissa

on käytetty taulukossa 6.1 esitettyjä tuotteita. Tuotteet valittiin tutkimukseen osallistuneiden tahojen tuotevalikoimasta.

Taulukko 6.1: Tutkimuksessa käytetyt korjausmateriaalit.

Lämmöneristeet:

valmistaja	eristetyyppi	tuotenimet
PAROC,	kivivillaeristeet:	eXtra, FAS1, FAS4 ja Cortex 30
ISOVER Saint-Gobain,	mineraalivillaeristeet:	KL-33, FS5, FS30, RKL-31 FACADE ja KH-30
SPU,	polyuretaanieristeet:	AL

Julkisivurakenteet:

valmistaja	tuotteet
weber Saint-Gobain, (maxit)	eristerappausjärjestelmät: - 6 mm ohutrappaus - 25 mm paksurappaus
Parma,	kuorielementit: - 80 mm, tuulettuva, rakennusrungosta kannatettu - 100 mm, tuulettuva, omalla perustuksella - 80 mm, polyuretaanieriste kiinni elementissä, rakennusrungosta kannatettu
valmistajaa ei määritelty,	julkisivulevyverhous: - massaltaan kevyt julkisivulevyverhous, jossa rakoja tiilimuuraus: - puna- tai kalkkihiekkatiilestä paikalla muurattu tiilijulkisivu

6.2 Korjausvaihtoehtojen variaatiot

Eri tyyppisten rakenteiden sekä rakenteen ääneneristyskykyyn vaikuttavien ominaisuuksien perusteella luotiin kahdeksan rakennetyyppiä. Rakennetyypeistä joissa lämmöneristeellä on suuri vaikutus ilmaääneneristyskykyyn luotiin eri variaatiot polyuretaanieristeelle sekä villalle. Korjauksen jälkeistä tilannetta edustavassa laskennassa käytettiin taulukossa 6.2 esitettyjä 15 eri rakennevariaatioita. Rakenteiden

Taulukko 6.2: Laskennassa käytetyt uusien rakenteiden variaatiot.

RAK	lämmöneriste	ulkokuorirakenne
1	villa	tuulettuva tiilimuuraus
2	polyuretaani	tuulettuva tiilimuuraus
3	villa	tuulettuva, ripustettava kuorielementti 80 mm
4	villa	tuulettuva, kantava kuorielementti 100 mm
5	polyuretaani	ripustettava kuorielementti 80 mm (eriste liimattu elementtiin tehtaalla)
6	villa	tuulettuva julkisivulevyverhous
7	polyuretaani	tuulettuva julkisivulevyverhous
8a	villa (Isover)	paksurappaus 25 mm
8b	villa (PAROC)	paksurappaus 25 mm
9a	polyuretaani + villa (Isover)	paksurappaus 25 mm
9b	polyuretaani + villa (PAROC)	paksurappaus 25 mm
10a	villa (Isover)	ohutrappaus 6 mm
10b	villa (PAROC)	ohutrappaus 6 mm
11a	polyuretaani + villa (Isover)	ohutrappaus 6 mm
11b	polyuretaani + villa (PAROC)	ohutrappaus 6 mm

rakennetyyppikuvat (11 kpl) on esitetty liitteessä 5. Liitteessä käytetty kuvien numerointi vastaa taulukon 6.2 *RAK* sarakkeen numerointia.

Kaikkien rakenteiden lämmöneristepaksuus on valittu niin, että rakenteet täyttävät tutkimushetkellä voimassa olleen U-arvovaatimuksen $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Suomen rakentamismääräyskokoelma, C3 2010) [28]. Nykyiset rakentamismääräykset eivät velvoita korjaamaan olemassa olevia rakenteita nykyvaatimusten mukaisiin arvoihin, mikäli rakennuksen käyttötarkoitus ei muutu. Voimassa oleva U-arvovaatimus on kuitenkin valittu uusien rakenteiden lähtökohdaksi, sillä tässä tutkimuksessa käsitelty raskas korjaustapa edellyttää lämmöneristeen ja sen ulkopuolella olevien rakenteiden täydellistä uusimista. Tutkimuksessa käsitellyn raskaan korjaustavan yhteydessä on hyvin suositeltavaa parantaa myös rakenteiden energiatehokkuutta ja päivittää rakenteet vastaamaan nykyään käytössä olevia rakenneratkaisuita.

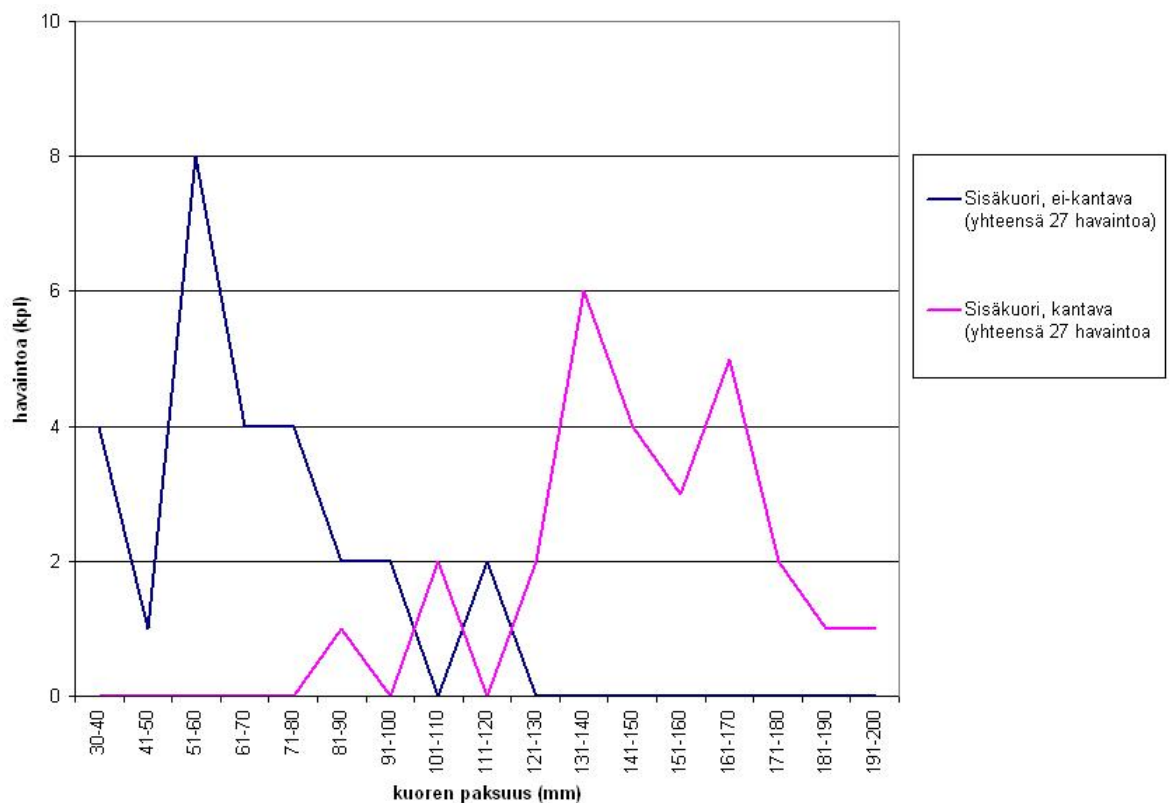
Laskennan tuloksia tulkittaessa tulee ottaa huomioon, että lämmöneristekerroksen ominaisuuksilla on suuri vaikutus etenkin rapattujen rakenteiden ilmaääneneristyskykyyn. Rapattu rakenne muodostaa massa-jousi-massasysteemin, jossa lämmöneriste toimii jousena kahden massan välissä (sisäkuori ja rappaus). Systeemissä

jousen (lämmöneristeen) ominaisuudet vaikuttavat rakenteen ilmaääneneristyskykyyn. [13] [3] Mikäli lämmöneristekerroksen paksuus tai ominaisuudet poikkeavat tutkimuksessa käytetyistä arvoista, poikkeaa todennäköisesti myös rakenteen ilmaääneneristysominaisuudet tutkimuksen tuloksista. Tuloksia voidaan kuitenkin tässäkin tapauksessa pitää suuntaa-antavina eri rakenneratkaisuiden välillä.

6.3 Ääneneristyslaskennan edustavuus

Korjauksen jälkeistä tilannetta kuvaamaan valittiin taulukossa 6.2 esitetyt rakenneratkaisut. Kyseisten rakenteiden ilmaääneneristyskykyä tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon myös alkuperäisen sisäkuorirakenteen paksuuden vaihteluväli sekä sisäkuoren paksuuden vaikutus. Tutkimuksessa käytettyjen, olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien sisäkuorirakenteen muodostamisessa käytetty menetelmä on esitetty kappaleessa 4.2.

Kappaleessa 4.2 esitettyjen olemassa olevaa rakennuskantaa kuvaavien elementtien sisäkuoren paksuus vaihtelee ei-kantavien elementtien tapauksessa välillä 31...114 mm ja kantavien elementtien tapauksessa välillä 87...193 mm. Kuvassa 6.1 on esitetty olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien sisäkuorien paksuuksien jakauma.



Kuva 6.1: Sisäkuoren paksuuksien jakauma.

Kuvan 6.1 jakauma ei vastaa olemassa olevan rakennuskannan sisäkuoren paksuuksien jakaumaa, vaan kuvan jakauma edustaa BeKo-tietokannan havaintoaineiston tunnusluvuista laskettuja elementtejä. Jakauman perusteella on kuitenkin määriteltävissä olemassa olevan rakennuskannan julkisivuelementtien sisäkuoren paksuuden tyypillinen vaihteluväli.

Laskemalla muodostetut arvot sisältävät useita epävarmuustekijöitä. Esimerkkinä voidaan mainita muun muassa seuraavat sisäkuoren laskettuun paksuuteen vaikuttavat epävarmuustekijät: julkisivusta irrotetun poranäytteen paksuus ei ole vakio koko näytteen alueella eikä se edusta koko ulkokuoren paksuutta, ulkokuoresta irrotettujen näytteiden perusteella muodostettuja keskiarvoja ei ole verrattu samoista elementeistä mitattuihin lämmöneristepaksuuksiin vaan koko aikakautta edustaviin lämmöneristepaksuuksiin, elementtitehtailla käytetyt muotit saattavat poiketa hieman suunnitteluarvoista ja niin edelleen. Havaintoaineiston laajuuden ansiosta laskettuja arvoja voidaan epävarmuustekijöistä huolimatta pitää riittävän edustavina, kun tarkastellaan sisäkuoren paksuuden vaihteluväliä tutkimuksen aikarajauksen puitteissa. Laajan sekä yhtenäisen havaintoaineiston perusteella epävarmuustekijöiden vaikutus havaintojen vaihteluvälin ääriarvoihin on tämän tutkimuksen tuloksien kannalta vähäistä, eikä vaikuta oleellisesti tutkimuksen lopputuloksiin. Sisäkuoren paksuuden arvoihin sisältyvän virheen tulisi olla toistuvasti kymmeniä millimetrejä, jotta sen vaikutus ääneneristyslaskennan lopputuloksiin olisi suurempi kuin esimerkiksi laskennan tarkkuus. Tässä kappaleessa sekä aikaisemmin mainitut epävarmuustekijät on myöhemmin otettu huomioon myös laskennan tuloksien tulkinnassa. Olemassa olevien sekä uusien rakenteiden rakennekerroksien paksuudet eivät myöskään ole laskentamallin tapaan vakioita reaali maailman rakenteissa. Suuretkin vaihtelut rakennekerroksien paksuudessa ovat mahdollisia, jopa yhdessä elementissä. Mikäli sisäkuoren paksuutta tutkittaisiin esimerkiksi yksittäisten kuorten paksuuden keskiarvona olemassa olevasta rakennuskannasta, on todennäköistä että merkittävä osa havainnoista olisi lähempänä suunnittelupaksuutta. Näin ollen käytännön suunnittelutyössä voidaan soveltaa pääsääntöisesti tämän tutkimuksen tuloksia, joiden laskennassa käytetty sisäkuori vastaa lähes suunnitteluarvoa.

Rakennepaksuuksien suunnitteluarvojen käyttäminen suunnittelutyössä on perusteltua myös kuvan 6.1 jakauman perusteella. Jakaumassa on havaittavissa, että merkittävä osa laskennan avulla muodostetuista sisäkuorista on melko lähellä tutkimuksen aikarajauksen aikana käytössä olleita sisäkuoren suunnitteluarvoja (ei-kantavat elementit, 70 mm ja kantavat 150 mm). Laskennassa käytettyjen menetelmien perusteella on todennäköistä, että reaali maailman rakenteiden jakaumassa suunnittelupaksuuden lähellä olevat arvot korostuvat vielä selvemmin. Tutkimuksen yhteydessä laskentamallin avulla muodostetuista sisäkuoren paksuuksista n. 67 % on ± 20 mm päässä suunnitteluarvosta. Tutkimuksessa käytetty 2 dB laskentatarkkuus

Taulukko 6.3: Uusien rakenteiden laskennassa käytetyt sisäkuorenpaksuudet.

	betonin lujuusluokka / sisäkuoren paksuus	aikakausi
Ei-kantavat	BETK20 / 35 mm BETK20 / 80 mm	1960 ja 1970 -luku, minimiarvo 1960 ja 1970 -luku, maksimiarvo
	BETK25 / 40 mm BETK25 / 110 mm	1980 -luku, minimiarvo 1980 -luku, maksimiarvo
Kantavat	BETK20 / 85 mm BETK20 / 100 mm BETK20 / 160 mm	1970 -luku, minimiarvo 1960 -luku, minimiarvo 1960 ja 1970 -luku, maksimiarvo
	BETK25 / 120 mm BETK25 / 190 mm	1980 -luku, minimiarvo 1980 -luku, maksimiarvo

vastaa noin 20...25 mm muutosta rakenteen sisäkuoren paksuudessa, rakenteen muiden ominaisuuksien ja rakennekerroksien säilyessä samana.

Laskentaa varten valittiin taulukossa 6.3 esitetyt sisäkuoret. Sisäkuoren paksuudet valittiin edustamaan eri aikakausille kappaleessa 4.2 laskettujen sisäkuoren paksuuksien suurinta ja pienintä arvoa, eli sisäkuoren paksuuden vaihteluväliä. Sisäkuoren betonin lujuusluokaksi valittiin alkuperäisiä elementtejä edustavien elementtien laskennassa käytetty arvo, joka on esitetty materiaalitiedoissa kappaleessa 5.3 sekä taulukossa 6.3.

Tässä tutkimuksissa käsiteltyjen rakenneratkaisuiden tapauksessa sisäkuoren betonin lujuusluokalla ei ole suurta merkitystä rakenteen ilmaääneneristyskykyyn, mikäli lujuusluokkaa ei muuteta merkittävästi. Yleistys koskee varmuudella ainoastaan tämän tutkimuksen yhteydessä esitettyjä rakenneratkaisuja ja betonin lujuusluokkia. Mikäli betonin lujuusluokka poikkeaa merkittävästi tutkimuksessa esitetyistä lujuusluokista K20 tai K25 tulee tilanne tarkastella erikseen. Betonin lujuusluokan muutosta voidaan pitää merkittävänä, mikäli betonin lujuusluokka poikkeaa yli 5 MN/m² tutkimuksessa käytetyistä lujuusluokista. Tutkimuksessa käsiteltävien rakenteiden tapauksessa sisäkuoren betonin lujuusluokan (K20 / K 25) vaikutus on tarkastuslaskelmien perusteella noin ± 1 dB. Taulukossa 6.3 esitetty laskenta-arvo *BETK20 / 80 mm* vastaa hyvin tutkimuksen aikarajauksen aikana käytössä ollutta ei-kantavan elementin sisäkuoren suunnitteluarvo. Vastaavasti laskenta-arvo *BETK20 / 160 mm* vastaa hyvin käytössä ollutta kantavan elementin suunnitteluarvoa. Kummassakin tapauksessa ero varsinaisella suunnitteluarvolla laskettuun tulokseen on alle 1 dB.

Taulukko 6.4: Uusien rakenteiden laskennassa käytetyt materiaalitiedot, rakennetyypit 1-7.

1, 2, tuulettuva tiilimuuraus

kuorirakenne:	tiili, tiheys: 1600 kg/m ³ kimmomoduuli: 4800 MPa rakennepaksuus: 130 mm
liitos:	muuraussiteet (d = 4 mm) dynaaminen jäykkyys: 105 MN/m ² (/ 100 mm)

3, 4, tuulettuva kuorielementti

kuorirakenne:	betoni K35, tiheys: 2500 kg/m ³ kimmomoduuli: 30000 MPa rakennepaksuus: 80 mm (RAK 3) tai 100 mm (RAK 4)
liitos:	muuraussiteet (d = 4 mm) dynaaminen jäykkyys: 105 MN/m ² (/ 100 mm)

5, tuulettumaton kuorielementti

kuorirakenne:	betoni K35, tiheys: 2500 kg/m ³ kimmomoduuli: 30000 MPa rakennepaksuus: 80 mm
liitos:	liimaliitos eristeeseen SPU AL SPU AL, tiheys: 33 kg/m ³ , kimmomoduuli: 5 MPa rakennepaksuus: 120 mm
liitos 2:	Isover KH-30 tasausvilla (sandwich-liitos) dynaaminen jäykkyys: 7,9 MN/m ² (/ 30 mm)

6, 7, tuulettuva julkisivulevyverhous

kuorirakenne:	julkisivulevy tiheys: 1100 kg/m ³ kimmomoduuli: 3500 MPa rakennepaksuus: 8 mm, raon osuus 5 % pinta-alasta
liitos:	rankaliitos, välissä absorptiomateriaali rakennepaksuus: 240 mm (rakenne 6) ja 190 mm (rakenne 7) rangan dynaaminen jäykkyys: 2×10^{11} MN/m ² raon osuus rakenteen pinta-alasta: 5% rankojen k/k -jako: 600 mm

6.4 Uusien rakenteiden ääneneristyslaskenta

Julkisivukorjauksen jälkeistä tilannetta edustavien rakenteiden ilmaääneneristyslaskenta on suoritettu muiden ilmaääneneristyslaskelmien tapaan *ILPO - Ilmaääneneristävyiden laskenta* -laskentataulukolla, jonka ominaisuudet on esitetty kappaleessa 5.1. Laskennassa on otettu huomioon olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien laskennan tapaan rakennekerrokset, niiden ominaisuudet sekä rakennekerroksien väliset liitokset. Laskenta suoritettiin erikseen jokaiselle rakennevariaatiolle taulukossa 6.3 esitetyillä sisäkuoren paksuuksilla. Osa rakennevariaatioista laskettiin lisäksi 10 mm sisäkuorenpaksuuden muutoksissa rakenteen sisäkuorenpaksuuden vaihdellessa välillä 30...190 mm, jotta rakenteen käyttäytyminen sisäkuoren paksuuden muuttuessa pystyttiin varmistamaan. [29] Taulukoissa 6.4, 6.5 ja 6.6 on

esitetty uusien rakenteiden laskennassa käytetyt materiaalit, materiaalipaksuudet sekä liitostyyppit. Laskennan tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että laskentatulokset edustavat julkisivukorjauksen jälkeisen tilanteen julkisivurakenteiden ilmaääneneristyskyvyn vaihteluväliä. Laskennan tuloksien jakauma ei todennäköisesti vastaa reaali maailman tilannetta, sillä laskennassa käytetyt sisäkuoret edustavat vaihteluvälin ääripäitä.

Taulukko 6.5: Uusien rakenteiden laskennassa käytetyt materiaalitiedot, rakennetyypit 8 ja 9.

kuorirakenne, rakennetyypit 8 ja 9

paksurappaus, tiheys: 1650 kg/m ³ kimmomoduuli: 7600 MPa	rakennepaksuus: 25 mm
--	-----------------------

8a, 8b, paksurappaus (villa)

8a, liitos 1:	jäykkä liitos (ruuviliitos)
8a, liitos 2:	kelluva sandwich-liitos (ei liimatartuntaa) lämmöneriste: Isover FS5 paksuus: 100+100 mm dynaaminen jäykkyys: 0,86 MN/m ² (/ 200 mm)
8b, liitos 1:	jäykkä liitos (ruuviliitos)
8b, liitos 2:	kelluva sandwich-liitos (ei liimatartuntaa) lämmöneriste: Paroc FAS1 paksuus: 100+100 mm dynaaminen jäykkyys: 1,5 MN/m ² (/ 200 mm)

9a, 9b, paksurappaus (polyuretaani)

9a, liitos 1:	jäykkä liitos (ruuviliitos)
9a, liitos 2:	kelluva sandwich-liitos (ei liimatartuntaa) lämmöneriste: SPU AL + Isover FS5 paksuus: 100+50 mm yhdistetty dynaaminen jäykkyys: 3,2 MN/m ² (/ eristekerros)
9b, liitos 1:	jäykkä liitos (ruuviliitos)
9b, liitos 2:	kelluva sandwich-liitos (ei liimatartuntaa) lämmöneriste: SPU AL + Paroc FAS1 paksuus: 100+50 mm yhdistetty dynaaminen jäykkyys: 5,4 MN/m ² (/ eristekerros)

Laskennassa liitos 1. edustaa paksurappausjärjestelmässä käytettyjen kiinnikkeiden osuutta. Liitostyypeillä 1. ja 2. lasketut tulokset lasketaan painotetusti yhteen taajuuskaistoittain niin, että liitoksen 1. osuus summasta on 18,85 % ja liitoksen 2. 81,15 %.

Taulukko 6.6: Uusien rakenteiden laskennassa käytetyt materiaalitiedot, rakennetyypit 10 ja 11.

kuorirakenne, rakennetyypit 10 ja 11

ohutrappaus, tiheys: 1500 kg/m ³ kimmomoduuli: 15400 MPa	rakennepaksuus: 6 mm
--	----------------------

10a, 10b, ohutrappaus (villa)

10a, liitos:	sandwich-liitos (tartunta liimaamalla) lämmöneriste: Isover FS30 dynaaminen jäykkyys: 3,5 MN/m ² (/ 200 mm)	paksuus: 100+100 mm
10b, liitos:	sandwich-liitos (tartunta liimaamalla) lämmöneriste: Paroc FAS4 dynaaminen jäykkyys: 11,2 MN/m ² (/ 200 mm)	paksuus: 100+100 mm

11a, 11b, ohutrappaus (polyuretaani)

11a, liitos:	sandwich-liitos (tartunta liimaamalla) lämmöneriste: SPU AL + Isover FS30 yhdistetty dynaaminen jäykkyys: 11 MN/m ² (/ eristekerros)	paksuus: 100+50 mm
11b, liitos:	sandwich-liitos (tartunta liimaamalla) lämmöneriste: SPU AL + Paroc FAS4 yhdistetty dynaaminen jäykkyys: 24 MN/m ² (/ eristekerros)	paksuus: 100+50 mm

Rakennetyypeissä 8, 9, 10 ja 11 käytetyt mineraali- sekä kivivillaeristeiden materiaalitiedot perustuvat valmistajien ilmoittamiin arvoihin. [30] [31] [13] Polyuretaanieristeen materiaalitiedot ovat *ILPO - Ilmaääneneristävyiden laskenta* -laskentataulukon mukaiset. Useammasta eristeestä koostuvien rapattujen yhdistelmärakenteiden dynaaminen jäykkyys on laskettu kaavan 6.1 mukaan. [32] Kuorirakenteiden materiaaliominaisuuksien arvot on valittu *ILPO - Ilmaääneneristävyiden laskenta* -laskentataulukosta.

$$s'_{tot} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{s'_i}} \quad (6.1)$$

Kaavassa 6.1: s'_{tot} on koko eristekerroksen dynaaminen jäykkyys
 s'_i on eristekerroksen osan (villa / polyuretaani)
dynaaminen jäykkyys.

Taulukko 6.7: Ilmaääneneristyslaskennan tulokset, rakennetyypit 1 - 5

Tuulettuva tiilimuuraus, rakennetyypit 1. ja 2.							
	heikoin tulos				paras tulos		
	R_w	C	C_{tr}		R_w	C	C_{tr}
ei-kantavat elementit	57	-2	-6		61	-1	-4
kantavat elementit	57	-2	-5		68	-1	-5
<i>BETK20 / 80 mm</i>	57	-2	-6				
<i>BETK20 / 160 mm</i>	65	-1	-5				

Tuulettuva kuorielementti, rakennetyypit 3. ja 4.							
	heikoin tulos				paras tulos		
	R_w	C	C_{tr}		R_w	C	C_{tr}
ei-kantavat elementit	56	-1	-5		63	-1	-5
kantavat elementit	57	-2	-6		67	-1	-6
<i>BETK20 / 80 mm</i>	56	-1	-5		(RAK 3)		
<i>BETK20 / 160 mm</i>	63	-2	-6		(RAK 4)		

Tuulettumaton kuorielementti, rakennetyyppi 5.							
	heikoin tulos				paras tulos		
	R_w	C	C_{tr}		R_w	C	C_{tr}
ei-kantavat elementit	51	0	-3		56	-1	-5
kantavat elementit	54	-1	-4		62	-1	-5
<i>BETK20 / 80 mm</i>	54	-1	-4				
<i>BETK20 / 160 mm</i>	60	-2	-5				

6.4.1 Uusien rakenteiden ääneneristyslaskennan tulokset

Korjauksen jälkeistä tilannetta edustavien rakennetyyppien ilmaääneneristävyyslaskennan tuloksien vaihteluväli, sekä suunnitteluarvoja vastaavat tulokset *BETK20 / 80 mm* ja *BETK20 / 160 mm* on esitetty taulukoissa 6.7, 6.8 ja 6.9. Taulukoiden tuloksissa samankaltaisten rakenteiden tulokset on yhdistetty niiden rakenteiden kohdalla, joissa rakennevariaatioiden väliset erot ovat alle 2 dB, sisäkuorenpaksuuden säilyessä samana. Suunnitteluarvoa vastaavana tuloksena on esitetty yhdistetyistä tuloksista heikoin. Rakennekohtaiset laskentatulokset on esitetty liitteessä 6.

Rakennetyyppien 1 - 4 tulokset ovat keskenään samankaltaisia, sillä rakenteet ovat akustiikan kannalta tarkasteltuina samantyyppisiä. Rakennetyypeissä 1 - 4 kuorirakenteena on raskas, kivirakenteinen kuori, joka on kytketty alkuperäiseen rakenteeseen metallisien kiinnitysosien avulla. Näiden rakennetyyppien mukaisissa rakenteissa lämmöneristekerroksella ei ole suurta vaikutusta rakenteen ilmaääneneristyskykyyn.

Taulukko 6.8: Ilmaääneneristyslaskennan tulokset, rakennetyypit 6 - 9

Tuulettuva julkisivulevy, rakennetyypit 6. ja 7.							
	heikoin tulos				paras tulos		
	R_w	C	C_{tr}		R_w	C	C_{tr}
ei-kantavat elementit	55	-1	-4		64	-3	-7
kantavat elementit	61	-1	-5		71	0	-5
$BETK20 / 80\text{ mm}$	60	-1	-5		(RAK 7)		
$BETK20 / 160\text{ mm}$	67	-3	-8		(RAK 7)		

Paksurappaus, rakennetyypit 8a ja 8b							
	heikoin tulos				paras tulos		
	R_w	C	C_{tr}		R_w	C	C_{tr}
ei-kantavat elementit	52	0	-2		61	-1	-5
kantavat elementit	58	-1	-4		68	-1	-5
$BETK20 / 80\text{ mm}$	57	0	-3	(RAK 8b)			
$BETK20 / 160\text{ mm}$	65	-1	-5				

Paksurappaus, rakennetyypit 9a ja 9b							
	heikoin tulos				paras tulos		
	R_w	C	C_{tr}		R_w	C	C_{tr}
ei-kantavat elementit	52	0	-2		61	-2	-6
kantavat elementit	58	-1	-4		67	0	-4
$BETK20 / 80\text{ mm}$	58	-2	-5		(RAK 9b)		
$BETK20 / 160\text{ mm}$	64	-1	-6		(RAK 9b)		

Rakennetyypin 5 mukaisten rakenteiden käytös poikkeaa hieman rakennetyypeistä 1 - 4, vaikka rakenteessa on raskas kuorirakenne. Koska kuorirakenne on liimattu lämmöneristeeseen, on rakenteen akustinen käyttäytyminen rapattujen rakenteiden tapaista. Rakennetyypin 5 mukaisissa rakenteissa lämmöneristeellä on suurempi vaikutus rakenteen ilmaääneneristyskykyyn kuin rakennetyyppien 1 - 4 mukaisissa rakenteissa.

Rakennetyyppien 6 ja 7 rakenteet edustavat tutkimuksessa rankarakenteisia julkisivuratkaisuita, joiden kuorirakenne ei ole yhteinen. Näiden rakenteiden kuorirakenteen massa poikkeaa selvästi alkuperäisen sisäkuorirakenteen massasta, toisin kuin rakennetyyppien 1 - 5 rakenteissa. Näin ollen akustiikan kannalta tärkeät rajataajuudet eivät ole yhtä lähellä sisäkuoren rajataajuuksia kuin rakenteissa 1 - 5. Rakennetyyppien 6 ja 7 mukaisissa rakenteissa lämmöneristekerroksella ei ole suurta vaikutusta rakenteen ilmaääneneristyskykyyn.

Rakennetyyppien 8a, 8b, 9a ja 9b mukaisten rakenteiden käytös on keskenään

Taulukko 6.9: Ilmaääneneristyslaskennan tulokset, rakennetyypit 10 - 11

Ohutrappaus, rakennetyypit 10a ja 10b						
	heikoin tulos				paras tulos	
	R_w	C	C_{tr}		R_w	C
ei-kantavat elementit	45	-2	-6		50	-1
kantavat elementit	47	-2	-6		57	0
<i>BETK20 / 80 mm</i>	47	-2	-6		(RAK 10b)	
<i>BETK20 / 160 mm</i>	53	-3	-8		(RAK 10b)	

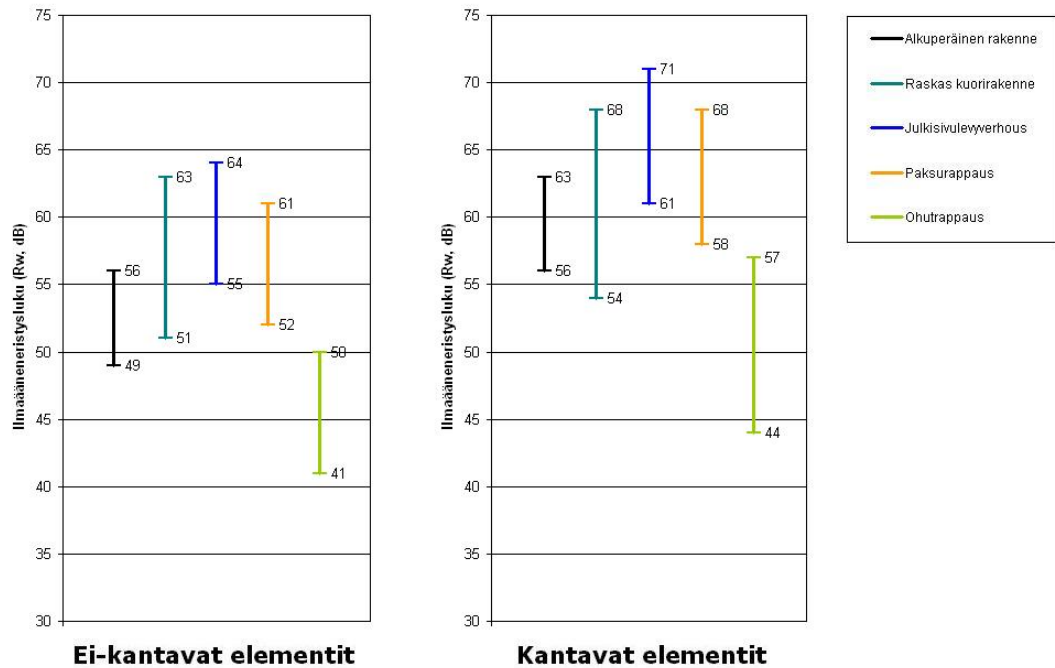
Ohutrappaus, rakennetyypit 11a ja 11b						
	heikoin tulos				paras tulos	
	R_w	C	C_{tr}		R_w	C
ei-kantavat elementit	41	-1	-4		48	-4
kantavat elementit	44	-6	-9		55	-3
<i>BETK20 / 80 mm</i>	43	-4	-8		(RAK 11b)	
<i>BETK20 / 160 mm</i>	52	-3	-8			

samankaltaista. Rapatuissa rakenteissa lämmöneristeellä on merkittävä vaikutus rakenteen ilmaääneneristyskykyyn, joten villa- ja polyuretaanieristeiden tulokset on käsitelty erikseen. Sama koskee myös rakennetyyppejä 10a, 10b, 11a ja 11b, joiden käytös on akustiikkaa tarkasteltaessa keskenään samankaltainen. Ohut- ja paksurapattujen rakenteiden ilmaääneneristyskyky eroaa huomattavasti toisistaan. Syy ilmaääneneristyskyvyn eroon johtuu rappauseristeiden erilaisesta kiinnitystavasta.

Laskennan tuloksien luotettavuutta tarkasteltiin vertaamalla tuloksia sekä laskentamalleja saatavilla oleviin laboratoriomittauksilukuihin. [13] Täysin vastaavien rakenteiden mittauksilukuihin, joissa on ilmoitettu käytetyt materiaalit on kuitenkin huonosti saatavilla. Yksi syy laboratoriotulosten pieneen määrään on se, että julkisivurakenteiden ilmaääneneristyskyvyn määrittäminen laboratoriossa on hankalaa ja työlästä. Laboratoriomittauksia varten tulisi valmistaa jokaisesta mitattavasta rakenteesta oikeat materiaali-eristykset sisältävä koekappale. Julkisivurakenteiden hyvä ääneneristyskyky etenkin korkeilla taajuuksilla vaikeuttaa myös laboratoriomittauksien suorittamista.

6.5 Uusien rakenteiden ääneneristyslaskennan tuloksien tulkinta

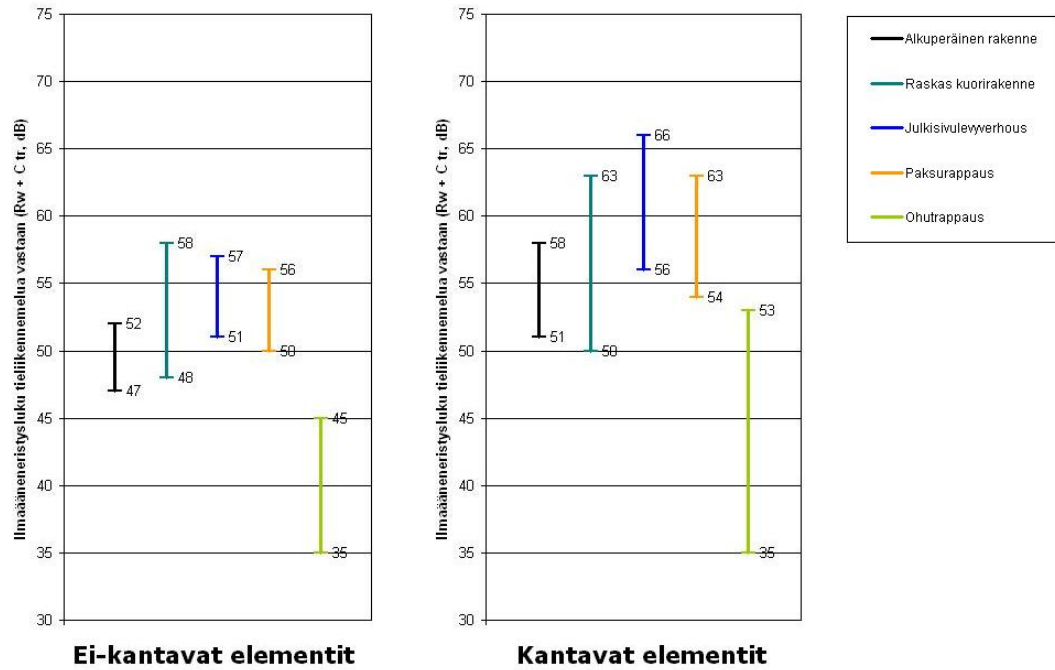
Korjauksen jälkeistä tilannetta edustavien rakenteiden ilmaääneneristyskyky on yleensä samaa tasoa tai parempi kuin olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien ilmaääneneristyskyky. Ainoastaan ohutrappattujen rakenteiden ilmaääneneristyskyky on yleensä samaa tasoa tai parempi kuin olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien ilmaääneneristyskyky.

Kuva 6.2: Uusien rakenteiden ilmaääneneristysluku (R_w).

neristyskyky on selvästi olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien ilmaääneneristyskykyä heikompi. Kuvissa 6.2 ja 6.3 on esitetty uusien rakenteiden ääneneristyslaskennan tuloksien vaihteluväli eri rakenneratkaisuille. Rakennetyypit 1 - 5 edustavat kuvissa raskaita rakenteita ja rakennetyypit 6 - 7 julkisivulevyverhousta. Rapatut rakenteet on jaettu paksurapattuihin (8a, 8b, 9a ja 9b) sekä ohutrappattuihin (rakennetyypit 10a, 10b, 11a ja 11b) rakenteisiin.

Alkuperäisen sisäkuorirakenteen suunnittelupaksuutta vastaavia tuloksia tarkasteltaessa, ei-kantavia elementtejä ($BETK20 / 80mm$) edustavien, rakennetyyppien 1 - 9 mukaisten rakenteiden ilmaääneneristysluku on välillä 54...60 dB ja tieliikennemelun korjaustermi huomioituna välillä 50...55 dB. Vastaavasti ei-kantavien elementtien suunnittelu-arvoa edustavien ohutrappattujen rakenteiden (rakennetyypit 10a, 10b, 11a ja 11b) ilmaääneneristysluku on välillä 43...47 dB ja tieliikennemelun korjaustermi huomioituna 35...41 dB. Tutkimuksessa olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien ei-kantavien elementtien ilmaääneneristysluku on välillä 49...56 dB ja tieliikennemelun korjaustermi huomioituna välillä 47...52 dB. Rakennetyyppien 1-9 mukaisilla rakenteilla saavutetaan laskennan tuloksien perusteella noin 3...4 dB parannus ilmaääneneristyslukuun sekä ilmaääneneristyslukuun tieliikennemelua vastaan, mikäli alkuperäisen elementin sisäkuoren paksuus vastaa lähes suunnittelu-arvoa. Ohutrappattujen rakenteiden tapauksessa ilmaääneneristysluku heikkenee noin 6...9 dB ja ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan yli 10 dB.

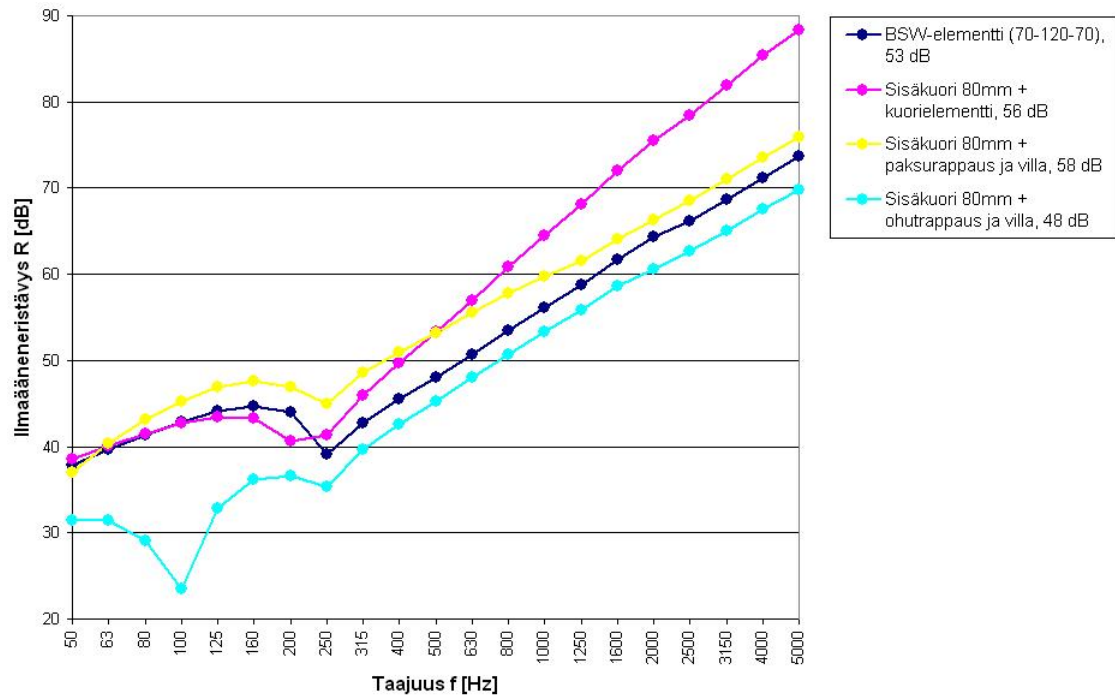
Vastaavasti kantavien elementtien alkuperäisen sisäkuorirakenteen suunnittelupaksuutta vastaavia tuloksia ($BETK20 / 160mm$) tarkasteltaessa rakennetyyppien



Kuva 6.3: Uusien rakenteiden ilmastäneristysluku tieliikennemelua vastaan ($R_w + C_{tr}$).

1 - 9 mukaisten rakenteiden ilmastäneristysluku on välillä 63...67 dB ja tieliikennemelun korjaustermi huomioituna ilmastäneristysluku tieliikennemelua vastaan on välillä 55...60 dB. Kantavia ohutrapattuja rakenteita edustavien rakenteiden (rakennetyypit 10a, 10b, 11a ja 11b) ilmastäneristysluku on välillä 52...53 dB ja liikennemelun korjaustermi huomioituna 44...45 dB, sisäkuoren paksuuden vastatessa alkuperäisen rakenteen suunnittelupaksuutta ($BETK20 / 160mm$). Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien kantavien elementtien ilmastäneristysluku on välillä 56...63 dB ja ilmastäneristysluku tieliikennemelua vastaan on välillä 51...58 dB. Sisäkuoren suunnittelupaksuutta vastaavien, rakennetyyppien 1 - 9 mukaisten rakenteiden ilmastäneristysluku on laskennan tuloksien perusteella noin 4...7 dB parempi kuin olemassa olevaa rakennuskantaa kuvaavien elementtien ilmastäneristysluku. Liikennemelun korjaustermi huomioon otettuna uusien rakenteiden ilmastäneristysluku tieliikennemelua vastaan on noin 2...4 dB parempi kuin olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien. Ohutrapattuja rakenteita edustavien rakenteiden (rakennetyypit 10a, 10b, 11a ja 11b) ilmastäneristysluku on noin 4...10 dB olemassa olevaa rakennuskantaa edustavia rakenteita heikompi, sisäkuoren paksuuden vastatessa suunnitteluvaroa. Vastaavasti ilmastäneristysluku tieliikennemelua vastaan on noin 13 dB heikompi kuin olemassa olevaa rakennuskantaa edustavilla elementeillä.

Laskennan tulokset vastaavat rakennemallin muutosta. Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien betonisandwich-elementtien kuorirakenteet ovat jäykästi ansailla toisiinsa liitettyjä. Rakennetyypeissä 1 - 9 kuorirakenteen ja sisäkuoren välinen

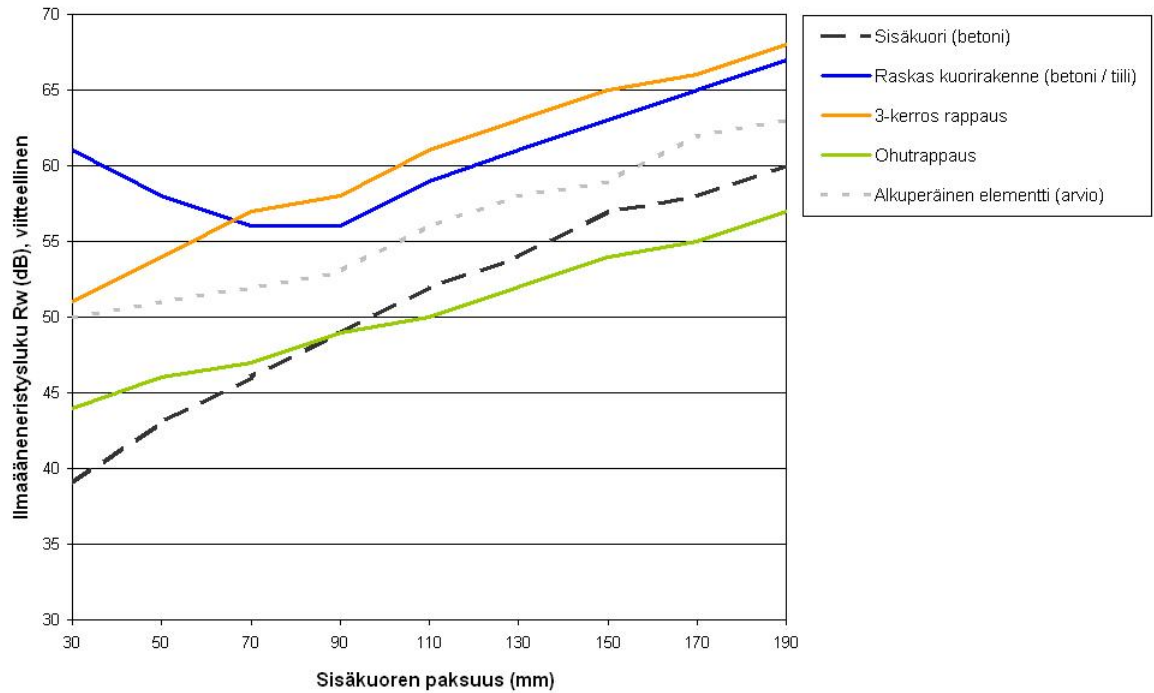


Kuva 6.4: Taajuuden vaikutus rakenteen ilmaääneneristyskykyyn.

liitos heikkenee, sillä uudet kuorirakenteet on kiinnitetty pistekiinnityksillä alkupe-
räisen julkisivuelementin sisäkuoreen. Myös rakenteen massan muutos on vähäistä
alkuperäiseen rakenteeseen verrattuna. Vastaavasti ohutrappattuja rakenteita edus-
tavissa rakennetyypeissä 10a, 10b, 11a ja 11b uuden kuorirakenteen (rappaus) ja
alkuperäisen julkisivuelementin sisäkuoren välinen liitos muuttuu kauttaaltaan lii-
maliitokseksi (sandwich-rakenne). Uuden rakenteen massa on myös huomattavasti
alkuperäisen betonisandwich-elementin massaa pienempi.

Laskennan tulokset on esitetty yksilukuisina mittalukuina, sillä näitä tunnuslu-
kuja (R_w ja $R_w + C_{tr}$) käytetään tutkittaviin ilmiöihin liittyvissä laskelmissa. Tämän
tutkimuksen kannalta uusiin rakenteisiin liittyvistä tunnusluvuista tärkeämpänä voi-
daan pitää ilmaääneneristyslukua tieliikennemelua vastaan, sillä huoneistojen väli-
sen ilmaääneneristysluvun laskelmissa ei käytetä uuden rakenteen ilmaääneneristys-
lukua, vaan pelkän sisäkuorirakenteen ilmaääneneristyslukua. Yksilukuisten mitta-
lukujen lisäksi tulee ottaa huomioon myös rakenteille lasketut kolmannesoktaavikais-
taiset tulokset. Kuvassa 6.4 on esitetty neljän eri rakenteen kolmannesoktaavikais-
taiset ilmaääneneristyskäyrät samassa kuvaajassa. Kuvassa esitettyjen rakenteiden
ilmaääneneristysluku vaihtelee välillä 48...58 dB ja tieliikennemelun korjaustermillä
korjattu ilmaääneneristysluku välillä 44...51 dB.

Kuvassa 6.4 on nähtävissä kuinka suhteellisen pieni ero kolmannesoktaavikaistai-
sissa ilmaääneneristävyyksissä saattaa vaikuttaa huomattavasti vertailukäyrämenet-
elmällä määritettyyn ilmaääneneristyslukuun. Esimerkiksi kuvassa keltaisella esite-



Kuva 6.5: Sisäkuoren paksuuden vaikutus rakenteen ilmaääneneristyskykyyn.

tyn paksurapatun rakenteen ja vaaleansinisellä esitetyn ohutrapatun rakenteen välinen ero ilmaääneneristysluvussa sekä ilmaääneneristysluvussa tieliikennemelua vastaan on 10 dB. Taajuuskaistaisissa tuloksissa merkittävin ilmaääneneristyslukuun vaikuttava ero muodostuu taajuusalueella 100...250 Hz. Taajuutta 500 Hz suuremmilla taajuuksilla rakenteiden välinen ero on ainoastaan 5...7 dB. Vastaavasti kuvassa punaisella esitetyn kuorielementtirakenteen taajuuskaistaiset tulokset ovat selvästi paksurapatun rakenteen tuloksia parempia taajuuden ollessa yli 800 Hz, vaikka paksurapatun rakenteen ilmaääneneristysluku on 2 dB parempi ja ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan 3 dB parempi kuin kuorielementtirakenteen.

Taajuuskaistaiset erot tulee ottaa huomioon etenkin niissä tapauksissa, joissa rakennus sijaitsee alueella jossa vallitseva melutaso poikkeaa selvästi liikennemelusta. Tällaisina alueina voidaan pitää esimerkiksi teollisuusalueiden läheisyydessä sijaitsevia alueita. Hyvä ilmaääneneristysluku ei yksinään riitä takaamaan rakenteen akustista toimintaa poikkeuksellisissa meluolosuhteissa. Vastaavasti heikentynyt ilmaääneneristysluku ei välttämättä aiheuta ongelmaa, mikäli heikennystä ei tapahdu vallitsevien olosuhteiden kannalta oleellisella taajuusalueella.

Taajuuden vaikutuksen lisäksi tulee tutkimuksessa käsitellyn korjaustavan yhteydessä ottaa huomioon myös alkuperäisen rakenteen sisäkuoren paksuuden vaikutus rakenteen ilmaääneneristyskykyyn. Kuvassa 6.5 on esitetty olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien ilmaääneneristysluku sisäkuoren paksuuden muuttuessa. Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien ilmaääneneris-

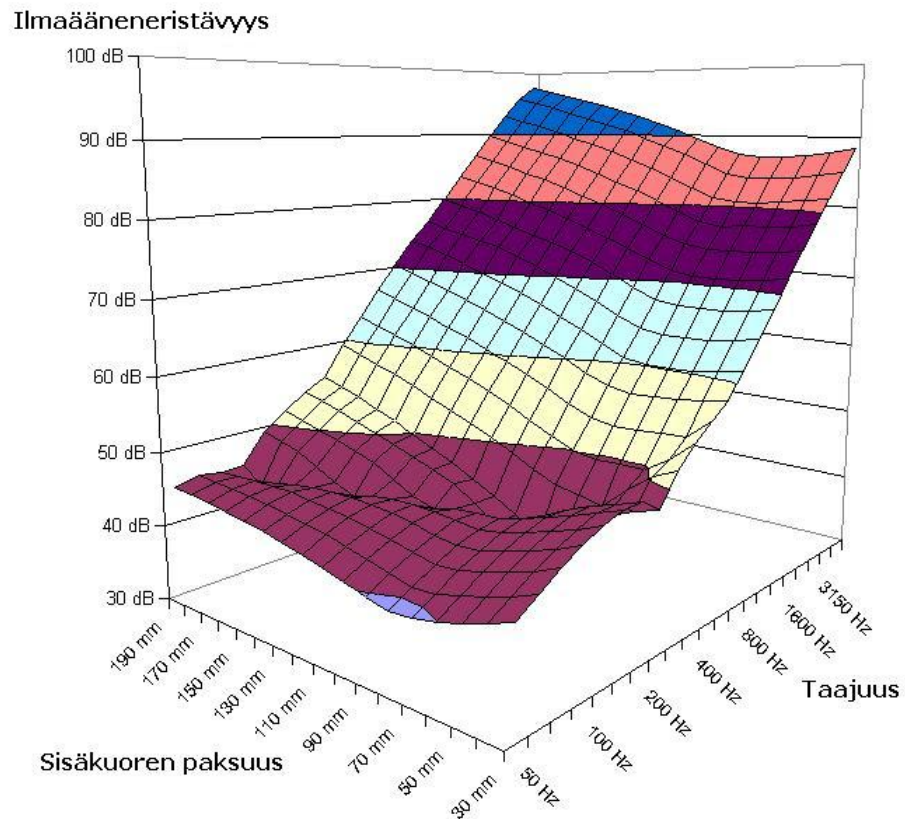
tysluvun lisäksi kuvassa on esitetty myös pelkän sisäkuorirakenteen ilmaääneneristysluku sekä kolmen eri korjausratkaisun ilmaääneneristysluku sisäkuoren paksuuden muuttuessa. Kuva on viitteellinen, sillä olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien ilmaääneneristyslukuun vaikuttaa rakenteen kokonaispaksuus ja korjausratkaisuiden ilmaääneneristyslukuun vaikuttaa korjauksessa käytetyt materiaalit. Kuva antaa kuitenkin käsityksen sisäkuoren paksuuden vaikutuksesta eri tyyppisiin korjausratkaisuihin. Kuvassa on lisäksi havaittavissa seuraavat ääneneristyslaskennan tuloksien tulkinnan yhteydessä mainitut ilmiöt:

- ilmaääneneristysluvun muutos on saman kantavuustyyppin elementeillä samaa suuruusluokkaa, kun elementin ulkokuori puretaan pois (Kappale 5.5)
- raskaiden korjausratkaisuiden sekä paksurappausjärjestelmän ilmaääneneristysluku on alkuperäistä elementtiä parempi
- ohutrapatun julkisivun ilmaääneneristysluku on heikompi kuin alkuperäisen elementtirakenteen. Ilmaääneneristysluku on suurilla sisäkuoren paksuuksilla jopa heikompi kuin pelkän sisäkuoren ilmaääneneristysluku

Kuvassa 6.5 on havaittavissa myös koinsidenssin rajataajuuden vaikutus raskaalla kuorirakenteella toteutetuissa korjausratkaisuissa. Uuden kuorirakenteen ja sisäkuoren pintamassat ovat selvästi toisistaan poikkeavat, sisäkuoren paksuuden ollessa alle 50 mm. Tällöin myös kuorirakenteen sekä alkuperäisen sisäkuoren koinsidenssitaaajuudet poikkeavat selvästi toisistaan ja korjatun rakenteen ilmaääneneristysluku on selvästi alkuperäistä rakennetta parempi. Pintamassojen lähestyessä toisiaan, myös kuorten koinsidenssin rajataajuudet lähestyvät toisiaan. Sisäkuoren paksuudesta 80...90 mm alkaen korjatun rakenteen ilmaääneneristysluku on enää noin 7 dB alkuperäisen elementtirakenteen ilmaääneneristyslukua parempi.

Useimmissa korjausrakentamiseen liittyvissä tilanteissa riittävänä tietona voidaan pitää rakenteen ilmaääneneristysluvun sekä tieliikennemelun korjaustermillä korjatun ilmaääneneristysluvun muutosta. Lisäksi julkisivulle asetetun äänitasoeron kaavavaatimuksen täyttyminen on suositeltavaa tarkastaa niissä kohteissa, joissa kaavavaatimus on asetettu. Poikkeuksellisissa ääniolosuhteissa sekä vaativissa kohteissa on suositeltavaa tarkastaa rakenteen käyttäytyminen taajuuskaistaisesti, sekä rakenevariaatioiden kuten sisäkuoren paksuuden muutoksen vaikutus rakenteen ilmaääneneristyskykyyn.

Kuvassa 6.6 esitetty erään raskaaseenn ulkokuoreen perustuvan korjausratkaisun ilmaääneneristyskyky sekä taajuude että sisäkuoren paksuuden funktiona. Akustisesti vaativissa korjauskohteissa onkin otettava huomioon, että jo tässä tutkimuksessa käsiteltyjen muuttujien huomioon ottaminen muodostaa 3-ulotteisen tarkaste-



Kuva 6.6: Sisäkuoren paksuuden ja taajuuden vaikutus rakenteen ilmaääneneristyskykyyn.

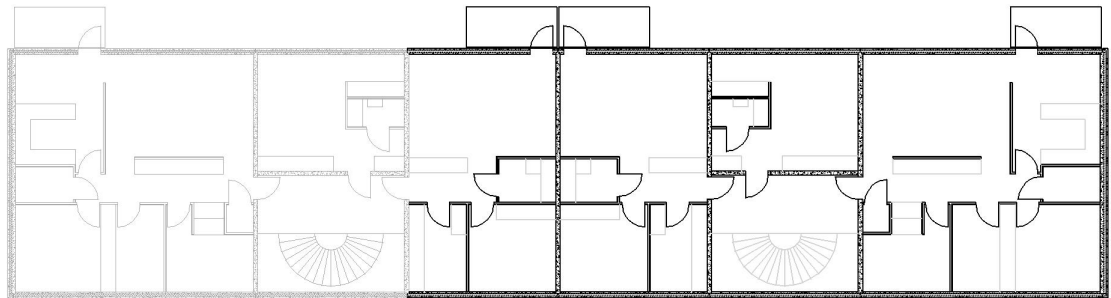
lutapauksen. Mikäli korjausapaa ja materiaaleja ei ole ennalta määritetty, lisäävät nämä muuttujat tarkastelun monimutkaisuutta. Vaativissa kohteissa optimaalisen ratkaisun löytäminen edellyttää materiaali- ja lähtötietojen tarkan tuntemuksen lisäksi myös ammattitaitoista suunnittelutyötä.

7. ESIMERKKIKOHDE

7.1 Kohteen kuvaus

Tutkimuksen yhteydessä suoritettuja laskennallisia tarkasteluja varten luotiin kuvitteellinen esimerkkikohde. Kohde on luotu BES-tutkimuksen yhteydessä esitettyjen 12M-moduulimittoihin ($12M = 1200 \text{ mm}$) perustuvien huoneistoesimerkkien perusteella. [33] Laskelmat suoritettiin BES-ohjeen mukaisessa kuvitteellisessä kohteessa, sillä näin on mahdollista luoda olemassa olevaa rakennuskantaa edustava yleinen tapaus. Kohde vastaa yleisesti käytössä olleen ohjeen mukaista rakennusta ja edustaa hyvin 1970-luvulla käytettyä, aluerakentamiselle tyypillistä pohjaratkaisua. [5]

Esimerkkikohde koostuu kahdesta keskenään samanlaisesta rappukäytävästä, jotka ovat toistensa peilikuvia. Kummassakin rappukäytävässä on yhteensä kolme huoneistoa kerroksessa. Kerroksien määrää ei ole määritetty, sillä kerrosluku ei vaikuta tutkimukseen. Kerroksen pohjakuva on esitetty kuvassa 7.1.



Kuva 7.1: Esimerkkikohteen kerroksen pohjakuva.

Huoneistotyyppit on valittu aikakaudelle tyypillisten ratkaisuiden perusteella [5]. Huoneistojen pohjaratkaisuiden valinnassa kiinnitettiin huomiota siihen, että huoneistot sisältäisivät mahdollisimman monta erilaista huonetta. Näiden valintojen avulla varmistettiin laskentaa varten mahdollisimman hyvin ja monipuolisesti reaalimaailman ratkaisuita edustava rakennus.

Huoneistojen pohjaratkaisuja valittaessa on otettu mahdollisimman hyvin huomioon myös huoneiden vaikutus tutkittaviin ilmiöihin. Huoneistojen pohjaratkai-

suista löytyy tutkittavien ilmiöiden kannalta sekä edullisia että huonoja huonetiloja. Myös huoneiden pinta-aloissa on suurta vaihtelua. Erimallisten ja kokoisten huoneiden avulla on mahdollista tutkia tilan vaikutusta tutkittaviin ilmiöihin. Esimerkkikohteen huoneistojen pinta-alat on esitetty taulukossa 7.1.

Taulukko 7.1: Esimerkkikohteen huoneistojen pinta-alat.

huoneistotyyppi	huoneiston leveys	huoneiston syvyys	huoneiston pinta-ala
1H + K	5 x 12M	4 x 12M	n. 28 m ²
2H + K	5 x 12M	8 x 12M	n. 57 m ²
4H + K	8 x 12M	8 x 12M	n. 92 m ²

Taulukossa esitettyjä huoneistokokoja käyttämällä rakennuksen ulkomitoiksi muodostui (36 x 12M) x (8 x 12M), eli 43 200 mm x 9 600 mm. Ikkunakooksi valittiin pitkillä julkisivuilla 1 500 mm x 1 400 mm. Ikkuna on sijoitettu jokaiseen ei-kantavaan elementtiin. Parvekkeiden taustaseinille kohdalla käytettäväksi ikkunakooksi valittiin 1 800 mm x 1 600 mm. Ikkunan lisäksi parvekkeen taustaseinään lisättiin 900 mm x 2 100 mm kokoinen ovi. Päätyjen kantaviin elementteihin ei ole sijoitettu ikkunoita.

Ikkunoiden muodolla ei ole merkittävää vaikutusta tutkittaviin ilmiöihin. Näin ollen ikkunoiden muotoa ei ole määriteltä tarkemmin, vaan valitun ikkunakoon perusteella laskettiin ainoastaan julkisivun ikkunapinta-ala. Julkisivuelementit ovat yleensä aluerakentamisaikakauden rakennuksissa kokoluokkaa 3 000...3 900 mm x 2 800 mm (30-39M x kerroskorkeus). Esimerkkikohteen mittojen perusteella elementtijaoksi saadaan 30M, jolloin kaksi elementtiä vastaa 60M (5 x 12M) leveää huoneistoa. Päädyssä olevan suuren huoneiston kohdalla elementtijako on 30M + 30M + 36M = 96M (8 x 12M). Koska esimerkkikohteen huonejako ei vastaa täysin esitettyä elementtijakoa, esiintyy ikkunapinta-aloissa huonekohtaisesti pientä vaihtelua. 30M elementtijakoa käyttämällä ikkunapinta-alaksi saadaan kaavan 7.1 perusteella 25 % ruutuelementin pinta-alasta julkisivuosuuksilla.

$$\frac{1500mm \times 1400mm}{3000mm \times 2800mm} = 25\% \quad (7.1)$$

Parvekkeen taustaseinän ikkunapinta-ala on samalla tavalla laskettuna $\approx 56,8 \%$.

Ulkovaipan äänitasoeroa laskettaessa julkisivun pinta-alasta otetaan huomioon ainoastaan kyseisen huoneen seinän sisäpinta-ala. Näin ollen julkisivupinta-alasta tulee vähentää välipohja- ja väliseinärakenteiden osuus. Huonekorkeutena on BES-aikakauden alussa käytetty yleisesti arvoa 2 500 mm, jota on käytetty huonekorkeu-

den arvona myös tähän tutkimukseen liittyvien laskelmien yhteydessä. Myöhemmin huonekorkeus on kasvanut arvoon 2 600 mm. [16] [5]

Tarkasteltaessa ikkunapinta-alan osuutta seinän sisäpinta-alasta tulee elementin leveydestä vähentää puolet huoneistojen välisen kantavan väliseinän paksuudesta. Kantavan väliseinän paksuutena on käytetty yleisesti arvoa 180 mm, joten vähennettävä osuus on 90 mm. Nämä vähennykset huomioon otettuna elementin sisäpinta-ala on $(3\,000\text{ mm} - 90\text{ mm}) \times 2\,500\text{ mm} = 2\,910\text{ mm} \times 2\,500\text{ mm}$. Kaavan 7.2 mukaisesti ikkunapinta-alaksi saadaan noin 28,9 % huoneiston ei-kantavien ulkoseinien pinta-alasta.

$$\frac{1500\text{ mm} \times 1400\text{ mm}}{2910\text{ mm} \times 2500\text{ mm}} \approx 28,9\% \quad (7.2)$$

Parvekkeen taustaseinän ikkunapinta-ala on samalla tavalla laskettuna $\approx 65,6\%$.

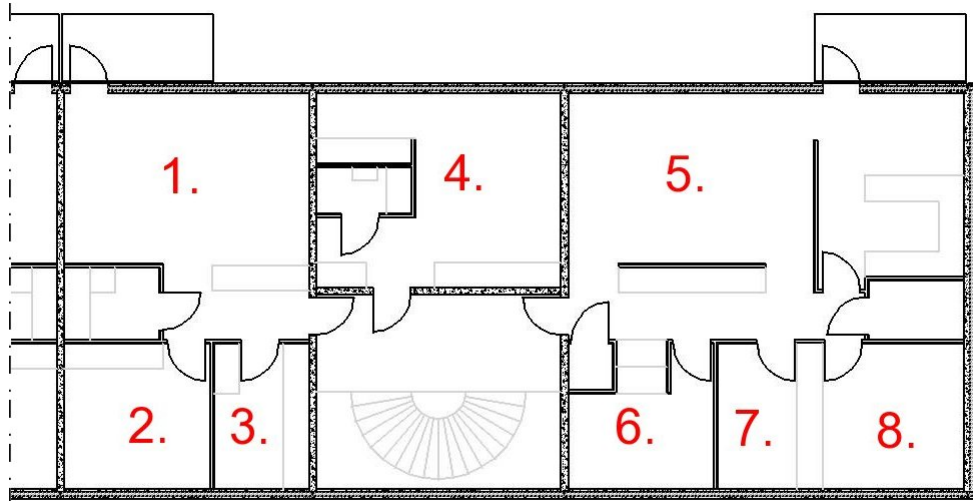
Esitettyjen viitteellisten pinta-alojen perusteella pystytään luomaan suuntaa antava käsitys ikkunapinta-alan osuudesta BES-aikakauden elementtikerrostalon julkisivupinta-alasta. Laskelmia varten määritetyt huonekohtaiset seinä- ja ikkuna-pinta-alat on esitetty julkisivun äänitasoerolaskelmien yhteydessä.

7.2 Esimerkkikohteesta suoritettut laskelmat

Ulkovaipan äänitasoero on tilakohtainen ilmiö. Näin ollen ulkovaipan äänitasoero laskettiin erikseen jokaisessa huonetilassa, joka rajoittuu ulkoseinärakenteeseen. Kuvassa 7.2 on esitetty huonetilojen laskennassa käytetty numerointi yhdestä kahdeksaan. Tiloihin on viitattu myöhemmin tässä tutkimuksessa kuvan 7.2 numeroinnin mukaisesti. Taulukossa 7.2 on esitetty huonetilojen pinta-ala sekä huonetyyppi.

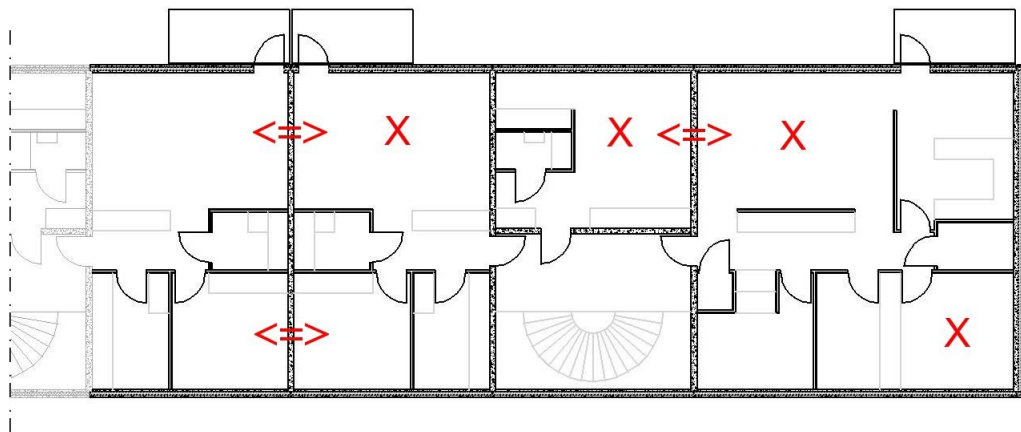
Taulukko 7.2: Esimerkkikohteen huoneiden pinta-alat.

Tunnus	Pinta-ala	Huoneen tyyppi
1	n. 30,0 m ²	olohuone ja eteinen
2	n. 12,1 m ²	makuuhuone
3	n. 7,9 m ²	keittiö
4	n. 24,0 m ²	keittiö, huone ja eteinen
5	n. 51,9 m ²	keittiö, olohuone ja eteinen
6	n. 10,0 m ²	makuuhuone
7	n. 7,7 m ²	makuuhuone
8	n. 12,8 m ²	makuuhuone



Kuva 7.2: Huoneet joissa laskettiin ulkovaipan äänitasoero.

Julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen vaikutusta huoneistojen väliseen ilma-ääneneristyslukuun R'_w tarkasteltiin laskennallisesti esimerkkikohteen huoneistoissa 1, 2, 4, 5 ja 8. Kuvassa 7.3 on esitetty laskennassa käytetyt huoneet, sekä laskenta-suunta näissä tiloissa. Symbolilla \Leftrightarrow viitataan samassa kerroksessa sijaitsevien, vierekkäisten huoneiden väliseen ilma-ääneneristysluvun laskentaan ja symbolilla X viitataan eri kerroksissa sijaitsevien, päällekkäisten huoneiden väliseen ilma-ääneneristysluvun laskentaan.



Kuva 7.3: Huoneet joiden kohdalla laskettiin huoneistojen välinen ääneneristysluku R'_w .

8. JULKISIVUKORJAUKSEN VAIKUTUS ULKOA SISÄLLE SIIRTYVÄÄN LIIKENNEMELUUN

8.1 Liikennemelua koskevat määräykset

Julkisivuelementin ilmaääneneristysluvulle ei ole annettu rakennusmääräyksissä erillistä määräystä. Liikennemelualueilla käytetyt kaavamääräykset esitetään asiakirjoissa julkisivun äänitasoerovaatimuksina ($\Delta L_{A,vaad}$). [42] Äänitasoerovaatimus määräytyy julkisivuun kohdistuvan liikennemelun tuottaman äänitason sekä sisällä sallitun äänitason erotuksena. [36] Sisällä sallittavat äänitasot on esitetty valtioneuvoston päätöksessä 993/1992. [1] Tämä valtioneuvoston päätös on annettu vuonna 1992 ja on voimassa tätä tutkimusta suoritettaessa, mutta sama määräys ei ole ollut voimassa tutkimuksen aikarajauksen aikana vuosina 1960-1992. Julkisivujen äänitasoerovaatimuksia on kuitenkin käytetty jo ennen Vnp 993/1992 voimaan tuloa ja näin ollen lähtötilanteen ja korjauksen jälkeisen tilanteen vertailu on mahdollista.

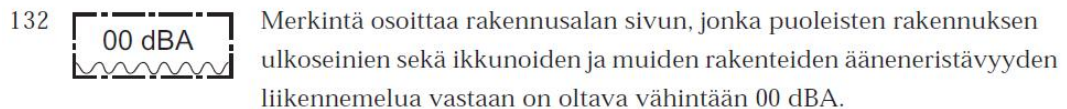
Tutkimuksessa käsitelty raskas julkisivukorjaus, jossa betonisandwich-elementin ulkokuori puretaan ja korvataan uudella ulkokuorirakenteella, muuttaa julkisivuelementin ilmaääneneristyskykyä. Tutkimuksessa käsiteltyjen rakenteiden tapauksessa uuden rakenteen ilmaääneneristyskyky on useimmiten alkuperäistä parempi, kun verrataan alkuperäisen rakenteen ja uuden rakenteen ilmaääneneristyslukua sekä ilmaääneneristyslukua tieliikennemelua vastaan.

Tämän tutkimuksen yhteydessä ulkovaipan äänitasoeron täyttymistä tutkittiin määrittämällä ikkunoilta vaadittu ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan ($R_w + C_{tr}$) alkuperäisten julkisivuelementtien ilmaääneneristyskyvyn perusteella. Korjauksen jälkeistä tilannetta edustavat laskelmat suoritettiin käänteisesti lähtötilanteeseen nähden, eli ikkunoiden ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan määriteltiin vastaamaan nykyisin käytössä olevia ikkunarakenteita ja ulkoseinän vaadittu ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan laskettiin näiden lähtötietojen perusteella. Käytetyn mallin avulla on mahdollistaa tarkastella ulkovaipan äänitasoerovaatimuksen täyttymistä lähtötilanteessaa sekä julkisivukorjauksen jälkeistä tilannetta edustavien rakenteiden ilmaääneneristyskyvyn riittävyttä. Käytetty menetelmä edellyttää tutkimuksen aikarajauksen aikana käytössä olleiden ik-

kunoiden ilmaääneneristyskyvyn selvittämisen, jotta laskennan tuloksien tulkinta on mahdollista. Korjauksen jälkeistä tilannetta edustavissa laskelmissa käytettiin ikkunan ilmaääneneristysluvulle tieliikennemelua vastaan kahta eri arvoa, joista toinen edustaa nykyikkunoiden keskitasoa ja toinen hyvän ilmaääneneristyskyvyn omaavaa ikkunaa.

Tutkimuksen aikarajauksen aikana voimassa olleet ulkovaipan ääneneristykseen liittyvät määräykset perustuvat vuonna 1959 voimaan tulleeseen rakennuslakiin sekä -asetukseen joissa määritellään, että rakennusten ääneneristävydessä ja meluntorjunnassa tulee ottaa huomioon tilojen käyttötarkoitukset. Myöhemmin määräykset perustuvat edellä mainittujen lisäksi meluntorjuntalakiin (382/87) ja -asetukseen (169/88) joissa asetetaan kunnan tehtäväksi valvoa meluntorjuntaa alueellaan. [39] [18] [40] [41]

Äänitasoerovaatimus ei koske automaattisesti kaikkia rakennuksia tai tiettyjä alueita, vaan se määritellään tapauskohtaisesti kaavoituksen yhteydessä. [42] Äänitasoerovaatimus ei välttämättä ole sama edes kaikilla saman rakennuksen julkisivuilla, vaan määräys asetetaan julkisivukohtaisesti. Kaavamääräys saattaa koskea esimerkiksi ainoastaan vilkkaani kadun puoleista julkisivua.



Kuva 8.1: Julkisivun äänitasoerovaatimuksen kaavamerkintä.

Lähde: Asemakaavamerkinnät ja -määräykset 2003. [43]

Kaavoituksessa määritellyt äänitasoerovaatimukset vaihtelevat yleensä välillä $\Delta L_{A,vaad} = 28 \dots 40$ dB. [42] Betonielementti-rakenteisen asuinkerrostalon julkisivu täyttää raskaiden rakenteiden ansiosta melko helposti äänitasoerovaatimuksen $\Delta L_{A,vaad} = 28$ dB. Toisaalta rakentamista tulisi välttää alueilla, joissa korkean melutason takia julkisivun äänitasoerovaatimukset kohoavat lähelle arvoa $\Delta L_{A,vaad} = 40$ dB. [7] Tutkimuksen yhteydessä käsitelty rakennuskanta ja aikarajauksen ajankohta edustavat suurelta osin aluerakentamisen trendien mukaista lähiörakentamista. Rakennusajankohdalle on tyypillistä, että rakennukset eivät sijaitse vilkkaasti liikennöityjen väylien varrella vaan rakennukset on sijoitettu pääasiassa kerrostaloista muodostuville asuinalueille. [5] Näillä perusteilla tutkimuksessa käsitellyt äänitasoerovaatimukset ovat rajattu seuraavasti: $\Delta L_{A,vaad_{min}}$ on 30 dB ja $\Delta L_{A,vaad_{max}}$ on 35 dB.

8.2 Ulkovaipan äänitasoeron laskeminen

Rakentamismääräyksissä ei ole määritelty menetelmää, jonka avulla rakennuksen ulkovaipan äänitasoero tulisi laskea. [36] Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisemassa teoksessa *Rakennusten akustinen suunnittelu* (RIL 243-1-2007) [7] on esitetty kaksi eri menetelmää äänitasoeron laskemiseksi. Toinen menetelmä on VTT:n laatima taulukkomitoitukseen perustuva mitoitusmenetelmä, joka on esitetty myös ympäristöoppaassa 108/2003. [36] Toinen RIL ry:n teoksessa esitellyistä menetelmistä on alun perin RT-kortissa vuonna 1975 esitetty, niin sanottu *äänitasoeromenetelmä*. Tämän tutkimuksen yhteydessä suoritetuissa äänitasoerolaskelmissa on käytetty RT-kortin menetelmää, sillä tämän menetelmän avulla on mahdollista vertailla eri rakennneosien vaikutusta ulkovaipan kokonaisäänitasoeroon. [7] Menetelmä soveltuu näin ollen hyvin myös julkisivukorjauksen vaikutuksen tarkasteluun. Menetelmän käyttöä puoltaa lisäksi se, että äänitasoeromenetelmä on ollut käytössä jo tutkimuksen aikarajauksen aikana.

Kaavassa esitetty äänitasoerovaatimus joka julkisivurakenteiden tulee täyttää, ei ole sama asia kuin rakennusosien ilmaääneneristyskyky, vaan äänitasoero (ΔL_A) määritellään suoraan rakennuksen ulkopuolella vallitsevan äänitason (L_u) ja sisällä sallitun äänitason (L_s) erotuksena kaavan 8.1 mukaisesti. Saavutettuun äänitasoeroon vaikuttaa julkisivurakenteiden ääneneristyskyvyn lisäksi myös rakenteiden sekä huoneen pinta-alat. [42]

$$\Delta L_A = L_u - L_s \quad (8.1)$$

8.2.1 Äänitasoeromenetelmä

Tämän tutkimuksen yhteydessä äänitasoerovaatimusta on käsitelty ainoastaan liikennemelualueilla. Äänitasoerovaatimus voidaan esittää myös lentomelua vastaan, jolloin laskelmissa tulee ottaa huomioon spektripainotustermillä C korjattu ilmaääneneristysluku lentomelua vastaan ($R_w + C$). Tässä kappaleessa on esitetty tutkimuksen yhteydessä käytetty julkisivun äänitasoeron laskenta tieliikennemelua vastaan.

Äänitasoerolaskelmat on suoritettu RIL 243-1-2007, *Rakennusten akustinen suunnittelu* -oppaan [7] mukaisesti, Microsoft Excel -pohjaisella laskentataulukolla. Yksittäisen rakennusosan kautta välittyvä äänitaso (L_s) saadaan laskettua kaavan 8.2 perusteella.

$$L_s = L_u - (R_w + C_{tr}) + 7 + 10 \log_{10} \frac{S_i}{S_H} \quad (8.2)$$

Kaavassa 8.2: $R_w + C_{tr}$ on rakennusosan ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan
 S_i on rakennusosan pinta-ala
 S_H on huoneen lattiapinta-ala

Sijoittamalla kaavan 8.2 mukainen rakennusosan kautta välittyvä äänitaso (L_s) kaavaan 8.1, voidaan rakennusosalla saavutettu äänitasoero esittää kaavan 8.3 muodossa.

$$\Delta L_A = L_u - L_s = (R_w + C_{tr}) - 7 - 10 \log_{10} \frac{S_i}{S_H} \quad (8.3)$$

Saavutettu äänitasoero lasketaan erikseen jokaiselle rakennusosalle kaavan 8.3 mukaan. Yksittäisille rakennusosille lasketut äänitasoerot lasketaan yhteen kaavan 8.4 esittämällä tavalla. [42] Kaavan 8.4 mukaan laskettu kaikkien rakennusosien summa vastaa rakennuksen ulkovaipan äänitasoeroa kyseisen huoneen kohdalla.

$$\Delta L_{A,kok} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n 10^{-\Delta L_{A,i}/10}} \right) \quad (8.4)$$

Äänitasoerolaskelmien yhteydessä ikkunoiden laboratoriossa määritellyistä ilmaääneneristysluvusta tieliikennemelua vastaan ($R_w + C_{tr}$) vähennetään 3 dB. Tämän vähennyksen (*käyttökorjaukseen*) avulla kompensoidaan asennustyön sekä liittyvien rakenteiden vaikutusta ikkunan ilmaääneneristyskykyyn. [7]

8.2.2 Esimerkkilaskelma äänitasoeromenetelmällä

Lasketaan kuvitteellisen tilan kohdalla saavutettu julkisivun äänitasoero äänitasoeromenetelmän avulla. Taulukossa 8.1 on esitetty laskennassa käytetyt lähtötiedot.

Lasketaan rakennusosalla saavutettu äänitasoero julkisivuosuudelle sekä ikkunalle kaavan 8.3 mukaan. Ikkunan äänitasoeroa laskettaessa otetaan huomioon käyttökorjaus 3 dB, jolloin laskennassa ikkunalle käytetään ilmanääneneristyslukuna tieliikennemelua vastaan arvoa: 42 dB - 3 dB = 39 dB. Rakennusosakohtaiset laskentatulokset on esitetty taulukossa 8.2.

Taulukko 8.1: Laskentaesimerkissä käytetyt lähtötiedot.

Huone	
leveys:	2,5 m
syvyys:	3 m
huonekorkeus:	2,5 m
lattiapinta-ala (S_H):	3 m x 2,5 m = 7,5 m ²

Ikkuna	
leveys:	1,4 m
korkeus:	1,5 m
rakennusosan pinta-ala (S_i):	1,4 m x 1,5 m = 2,1 m ²
$R_w + C_{tr}$:	42 dB

Ulkoseinä	
rakennusosan pinta-ala (S_i):	2,5 m x 2,5 m - 2,1 m ² = 4,15 m ²
$R_w + C_{tr}$:	53 dB

Ulkoseinän pinta-ala = huonekorkeus x huoneen leveys - ikkunan pinta-ala

Taulukko 8.2: Rakennusosien äänitasoeron laskenta.

Ikkunarakenteen äänitasoero

$$\Delta L_{a,ikkuna} = 39 \text{ dB} - 7 \text{ dB} - 10 \log_{10}(2,1 \text{ m}^2 / 7,5 \text{ m}^2)$$

$$\Delta L_{a,ikkuna} = 37,53 \text{ dB}$$

Seinärakenteen äänitasoero

$$\Delta L_{a,seina} = 53 \text{ dB} - 7 \text{ dB} - 10 \log_{10}(4,15 \text{ m}^2 / 7,5 \text{ m}^2)$$

$$\Delta L_{a,seina} = 48,57 \text{ dB}$$

Ulkovaipan äänitasoeroksi saadaan esimerkin tapauksessa 37 dB, kun taulukossa 8.2 esitetyt rakennusosakohtaiset äänitasoerot summataan kaavan 8.4 mukaan.

8.3 Esimerkkikohteen laskelmat

Raskaan julkisivukorjauksen vaikutusta ulkovaipan äänitasoerovaatimuksen täyttymiseen tutkittiin laskennallisesti kappaleessa 7.1 esitettyssä esimerkkikohteessa. Laskenta on suoritettu kuvassa 7.2 esitettyissä huonetiloissa 1...8. Taulukossa 8.3 on esitetty laskennassa käytetyt lähtötiedot sekä ikkunapinta-alan prosenttiosuus kyseisen huoneen ulkoseinän pinta-alasta (sarake %-osuus). Taulukon 8.3 sarakkeissa JS 1 ja JS 2 on esitetty ei-kantavan (JS 1) ja kantavan (JS 2) ulkoseinän leveyden sisämita. Huonekorkeutena on käytetty arvoa 2500 mm, jolloin ulkoseiniä sisäpinta-ala on (JS 1 + JS 2) x huonekorkeus - ikkunapinta-ala. Laskennassa ei-kantavat sekä kantavat ulkoseinäosuudet käsitellään erillisinä, sillä niiden ilmaääneneristysluku tieliikennemelua ei ole keskenään sama. Taulukossa käytetyt ikkunakoodit vastaavat

Taulukko 8.3: Esimerkkikohteen huoneiden tiedot ΔL_A laskentaa varten.

	Pinta-ala (m^2)	JS 1 (m)	JS 2 (m)	ikkunat	%-osuus
1	29,99	5,82	-	i18x16, o09x21	32,78 %
2	12,05	3,46	-	i15x14	24,26 %
3	7,88	2,26	-	i15x14	37,14 %
4	23,95	5,82	-	i15x14, i15x14	28,87 %
5	51,94	9,44	4,38	i15x14, i18x16, o09x21	19,89 %
6	9,95	3,46	-	i15x14	24,26 %
7	7,66	2,20	-	i15x14	38,18 %
8	12,80	3,68	3,48	i15x14	11,73 %

kappaleessa 7.1 esitettyjä ikkunakokoja (koodi *i15x14* tarkoittaa: *ikkuna*1500mm x 1400mm).

Äänitasoerovaatimuksen täyttymistä tarkasteltiin kolmella eri äänitasoerovaatimuksella: $\Delta L_a = 30$ dB, $\Delta L_a = 32$ dB ja $\Delta L_a = 35$ dB. Lähtötilannetta edustavat laskelmat suoritettiin erikseen 1960, 1970 ja 1980 -lukuja edustavilla lähtötiedoilla. Laskennassa käytetyt julkisivuelementin tieliikennemelun korjaustermillä korjatut ilmaääneneristysluvut valittiin kappaleissa 5.3.1, 5.3.2 ja 5.3.3 esitettyjen, olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien ilmaääneneristyslaskennan tuloksien perusteella.

Taulukossa 8.4 on esitetty lähtötilanteen laskennassa käytetyt julkisivuelementtien ilmaääneneristysluvut tieliikennemelua vastaan. Kutakin vuosikymmentä edustavista ääneneristyslaskennan tuloksista valittiin kantavan ja ei-kantavan elementin tieliikennemelun korjaustermillä korjatulle ilmaääneneristysluvulle suurin, pienin sekä yleisin arvo äänitasoerolaskentaa varten. Valittujen lähtötietojen perusteella laskettiin ikkunalta vaadittu ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan.

Taulukko 8.4: Lähtötilanteen ΔL_A -laskennassa käytetyt $R_w + C_{tr}$ -arvot.

	min	moodi	max
1960, JS 1	47 dB	47 dB	49 dB
1960, JS 2	51 dB	54 dB	55 dB
1970, JS 1	48 dB	49 dB	50 dB
1970, JS 2	51 dB	55 dB	56 dB
1980, JS 1	49 dB	50 dB	52 dB
1980, JS 2	53 dB	56 dB	58 dB

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien ilmaääneneristyskyvyn perusteella määritellyt ikkunan tieliikennemelun korjaustermillä korjatun ilmaääneneristysluvun ($R_w + C_{tr}$) vaatimukset vaihtelevat esimerkkikohteen huonetiloissa

välillä 30...40 dB, huonetilasta sekä äänitasoerovaatimuksesta riippuen. Laskennassa sekä esitetyissä tuloksissa on huomioitu ikkunoiden käyttökorjaus -3 dB. Esitetyt tulokset ovat tieliikennemelun korjaustermillä korjattuja ilmaääneneristystuloksia, joita laskennassa vähennetään käyttökorjaus.

Laskennan tuloksien perusteella voidaan todeta, että laskennassa tarkasteltujen äänitasoerovaatimusten täyttäminen olisi ollut mahdollista esimerkkikohteessa tutkimuksen aikarajauksen aikana käytössä olleella tekniikalla. [37] Äänitasoerovaatimuksen täyttyminen ei kuitenkaan ole lähtötilanteessa itsestään selvä asia, sillä etenkin korkeimpien ikkunan $R_w + C_{tr}$ -vaatimusten täyttyminen edellyttää yleisesti käytössä olleista ratkaisuista poikkeavia erikoisratkaisuja. Äänitasoerovaatimus ja aikakausikohtaiset laskentatulokset on esitetty taulukossa 8.5. Huonekohtaiset laskentatulokset on esitetty liitteessä 7.

Taulukko 8.5: Ikkunan $R_w + C_{tr}$ -vaatimus (min/max) esimerkkikohteessa eri aikakausilla.

	$\Delta L_A = 30 \text{ dB}$		$\Delta L_A = 32 \text{ dB}$		$\Delta L_A = 35 \text{ dB}$	
	min	max	min	max	min	max
1960	30 dB	35 dB	33 dB	37 dB	37 dB	40 dB
1970	30 dB	35 dB	33 dB	37 dB	37 dB	40 dB
1980	30 dB	34 dB	32 dB	37 dB	36 dB	40 dB

Ikkunoiden tieliikennemelun korjaustermillä korjatun ilmaääneneristysluvun vaatimusta määriteltäessä pienintä äänitasoerovaatimusta ei tarkasteltu suurimmalla julkisivuelementin ilmaääneneristysarvolla, eikä suurinta äänitasoerovaatimusta pienimmällä julkisivuelementin ilmaääneneristysarvolla. Julkisivuelementin ilmaääneneristyskyvyn vaikutus laskennan tuloksiin on hyvin pieni, sillä kaikki laskennassa käytetyt olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat julkisivuelementin ilmaääneneristysluvut tieliikennemelua vastaan ovat selvästi suurempia kuin ikkunalta vaaditut vastaavat arvot. Tarkastelun ulkopuolelle jätetyissä tapauksissa julkisivuelementin ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan olisi muuttunut korkeintaan 2 dB laskennassa käytetyistä arvoista. 2 dB muutos julkisivuelementin ilmaääneneristysluvussa tieliikennemelua vastaan ei vaikuta laskennan tuloksien perusteella tehtyihin johtopäätöksiin.

8.4 Äänitasoerovaatimuksen täyttyminen julkisivukorjauksen jälkeen

Korjauksen jälkeistä tilannetta edustavat äänitasoerolaskelmat suoritettiin kaksilla eri ikkuna- ja ovirakenteiden ilmaääneneristysarvoilla. Keskitasoa edustavissa laskelmissa käytettiin ikkunan ilmaääneneristysluvulle tieliikennemelua vastaan arvoa

$R_w + C_{tr} = 42$ dB ja parvekeovelle arvoa $R_w + C_{tr} = 35$ dB. Korkean ilmäääneneristyskyvyn omaavia ikkunoita ja parvekeovia edustavissa laskelmissa ikkunan ilmäääneneristyslukuna tieliikennemelua vastaan käytettiin arvoa $R_w + C_{tr} = 46$ dB ja parvekeovelle arvoa $R_w + C_{tr} = 38$ dB. [38]

Julkisivurakenteelta vaadittu ilmäääneneristysluku tieliikennemelua vastaan laskettiin kuvassa 7.2 esitetyissä huoneissa 1...8 tarkasteltavilla äänitasoerovaatimuksilla $\Delta L_A = 30 / 32 / 35$ dB. Taulukossa 8.6 on esitetty ei-kantavan (*JS 1*) ja kantavan (*JS 2*) julkisivurakenteen tieliikennemelun korjaustermillä korjatun ilmäääneneristysluvun ($R_w + C_{tr}$) vähimmäisvaatimuksen vaihteluväli (min / max). Ulko-seinärakenteelta vaaditun tieliikennemelun korjaustermillä korjatun ilmäääneneristysluvun vähimmäisvaatimus riippuu liittyvien rakenteiden ilmanääneneristyskyvyn lisäksi myös rakenteiden sekä huoneen pinta-alojen suhteista.

Taulukko 8.6: Julkisivurakenteen $R_w + C_{tr}$ -vaatimus (min/max) esimerkkikohteessa eri ikkunan ilmäääneneristysarvoilla.

Julkisivurakenteen $R_w + C_{tr}$ -vaatimus, keskitason ikkunat

	$\Delta L_A = 30$ dB		$\Delta L_A = 32$ dB		$\Delta L_A = 35$ dB	
	min	max	min	max	min	max
JS 1	33 dB	37 dB	36 dB	39 dB	40 dB	43 dB
JS 2	37 dB	40 dB	40 dB	42 dB	44 dB	46 dB

Julkisivurakenteen $R_w + C_{tr}$ -vaatimus, hyvin eristävät ikkunat

	$\Delta L_A = 30$ dB		$\Delta L_A = 32$ dB		$\Delta L_A = 35$ dB	
	min	max	min	max	min	max
JS 1	33 dB	36 dB	35 dB	38 dB	39 dB	41 dB
JS 2	37 dB	40 dB	40 dB	42 dB	42 dB	46 dB

Ikkunoiden vaihdon jälkeen julkisivurakenteelle muodostuva ilmäääneneristysvaatimus on melko pieni verrattuna tutkimuksen yhteydessä käsitellyillä korjausratkaisulla saavutettavaan ilmäääneneristyskykyyn. Esimerkkikohteessa suoritettujen laskelmien perusteella ei-kantavien julkisivurakenteiden tieliikennemelun korjaustermillä korjatun ilmäääneneristysluvun ($R_w + C_{tr}$) vaatimus vaihtelee kaikissa tapauksissa välillä 33...43 dB ja kantavien julkisivuosuuksien vaatimus välillä 37...46 dB. Ikkunan ilmäääneneristysluvun vaikutus julkisivurakenteelta vaadittuun ilmäääneneristysluvuun tieliikennemelua vastaan on ainoastaan 0...2 dB tutkimuksessa käsiteltyjen ikkunavaihtoehtojen välillä. Seinärakenteen ääneneristysvaatimus kasvaa kuitenkin huomattavasti mikäli julkisivukorjauksen yhteydessä valitaan ikkunat, joiden ilmäääneneristysluku tieliikennemelua vastaan on samaa luokkaa julkisivulta vaaditun äänitasoeron kanssa ja poikkeaa näin ollen selvästi tämän tutkimuksen yhteydessä käytetyistä ikkunoiden ilmäääneneristysarvoista. Esimerkiksi mikäli esimerkkikoh-

teessa käytettäisiin ikkunoita joiden $R_w + C_{tr}$ on 35 dB, muodostuisi 32 dB äänitasoero-vaatimuksella ei-kantavan julkisivurakenteen tieliikennemelun korjaustermillä korjatun ilmajääneristysluvun vaatimukseksi suurimmassa osassa huonetiloja 39...49 dB. Äänitasoero-vaatimuksen täyttyminen tällä ikkunaratkaisulla ei kuitenkaan olisi mahdollista pienimmissä huonetiloissa, joissa ikkunan osuus julkisivupinta-alasta on jopa 40%.

Verrattaessa äänitasoero-vaatimuksen avulla laskettuja julkisivurakenteiden $R_w + C_{tr}$ -vaatimuksia kappaleessa 6.5 esitettyihin, tutkimuksen yhteydessä käsiteltyjen korjausratkaisuiden ääneneristyslaskennan tuloksiin, voidaan laskennan tuloksien perusteella todeta korjausratkaisuiden täyttävän $R_w + C_{tr}$ -vaatimuksen suurimmassa osassa tapauksista. Ohutrapattuja rakenteita lukuun ottamatta kaikki korjausratkaisuille lasketut tieliikennemelun korjaustermillä korjatut ilmajääneristysluvut ovat ei-kantavien rakenteiden tapauksessa yli 48 dB ja kantavien rakenteiden tapauksessa yli 50 dB. Äänitasoeron kautta määritelty suurin $R_w + C_{tr}$ -vaatimus on ei-kantavien rakenteiden tapauksessa 43 dB ja kantavien rakenteiden tapauksessa 46 dB.

Ohutrapatuilla rakenteilla äänitasoero-vaatimus ei täyty kaikissa esimerkkikohteen huonetiloissa. Kappaleessa 6.5 on esitetty ohutrapattujen rakenteiden ilmajääneristysluku tieliikennemelua vastaan alkuperäisen elementin sisäkuoren paksuuden vastatessa suunnitteluarvoa. Käytetystä lämmöneristeestä riippuen ohutrapattun ei-kantavan rakenteen ilmajääneristysluku tieliikennemelua vastaan on välillä 35...44 dB ja kantavan rakenteen ilmajääneristysluku tieliikennemelua vastaan välillä 44...49 dB, sisäkuoren paksuuden vastatessa elementin suunnitteluarvoa. Tutkimuksen yhteydessä tarkasteltujen äänitasoero-vaatimuksien täyttäminen on näin ollen mahdollista myös ohutrapatuilla rakenteilla, mutta suunnittelussa tulee kiinnittää erityisesti huomiota käytettyihin materiaaleihin sekä julkisivuun liittyvien rakenneosien valintaan.

9. JULKISIVUKORJAUKSEN VAIKUTUS HUONEISTOJEN VÄLISEEN ILMAÄÄNENERISTYKSEEN

9.1 Huoneistojen välinen ilmaääneneristys

Ääni siirtyy asuinhuoneistojen välillä huoneistoja erottavan rakenteen lisäksi myös kaikkia erottavaan rakenteeseen liittyviä rakenteita pitkin. Ilmiötä kutsutaan rakennusakustiikassa sivutiesiirtymäksi. Tarkastelusuunnasta riippuen sivuavia rakenteita ovat välipohja-, väliseinä- sekä julkisivurakenteet. Rakenteellisen sivutiesiirtymän lisäksi ääni kulkeutuu huoneistosta toiseen myös muun muassa taloteknisten järjestelmien kuten lämmitys ja ilmanvaihto järjestelmien kautta. [7]

Huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku R'_w on sivutiesiirtymän takia käytännössä aina heikempi, kuin huoneistoja erottavan rakenteen ilmaääneneristysluku R_w . [7] Ilmaääneneristysluvun merkintätapa (R_w / R'_w) kertoo lukijalle sisältääkö ilmaääneneristysluku sivutiesiirtymän osuuden, vai vastaako luku laboratorioarvoa. Mikäli ilmaääneneristysluku sisältää sivutiesiirtymän vaikutuksen, lisätään R-kirjaimen perään heittomerkki (R'_w).

Sivutiesiirtymän lisäksi myös mahdolliset rakennusvirheet tai rakennuksen liikeistä johtuvat raot ja halkeamat heikentävät huoneistojen välistä ilmaääneneristyslukua. [7] Rakenteessa olevan raon vaikutus ilmaääneneristyslukuun saattaa olla jopa useita desibelejä. Rakojen ja työvirheiden esiintyminen tutkimuksen aikarajauksen mukaisessa rakennuskannassa on rakennuksen iästä sekä käytössä olleista työtekniikoista johtuen hyvin todennäköistä. [16]

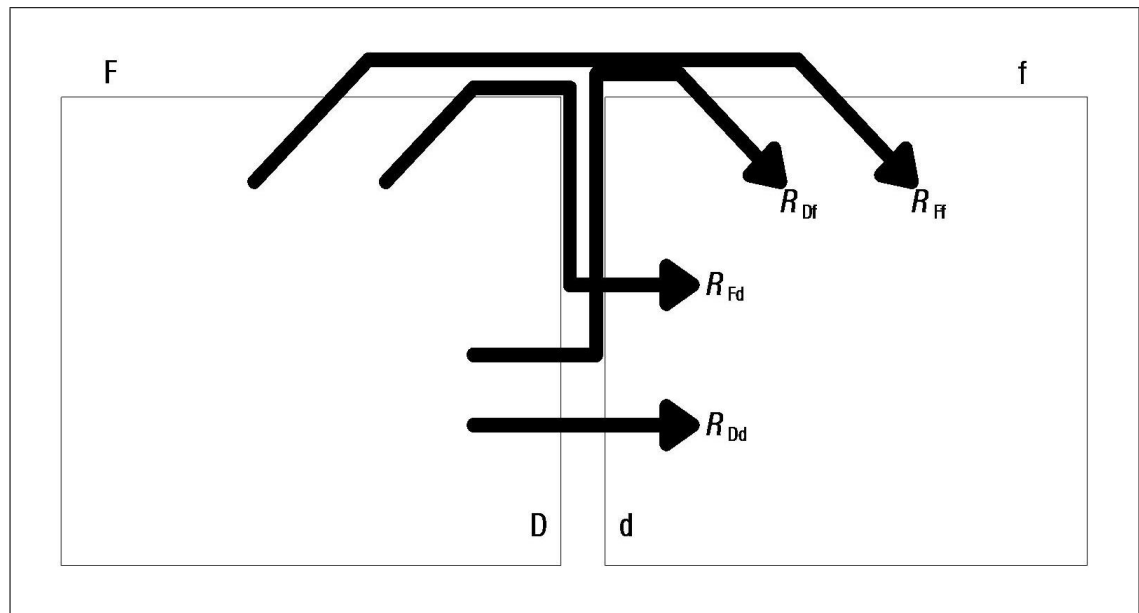
Tarkasteltaessa rakenteellisen sivutiesiirtymän vaikutusta huoneistojen väliseen ilmaääneneristyslukuun, on julkisivurakenne lähes aina mukana yhtenä sivutiereitinä. Sivutiereitin eristävyys riippuu rakenteen ilmaääneneristyskyvystä, joka julkisivuelementin tapauksessa muuttuu raskaan julkisivukorjauksen yhteydessä. Rasasta julkisivukorjausta tarkasteltaessa toimii sivutiereittinä lähtötilanteessa koko julkisivuelementti, sillä elementin kuoret on kytketty toisiinsa jäykästi ansailla. Kun julkisivuelementin ulkokuori puretaan julkisivukorjauksen yhteydessä pois, toimii sivutiereittinä ainoastaan alkuperäisen elementin sisäkuori, sillä uusi julkisivurakenne ei ole enää jäykästi kytketty elementin sisäkuoreen. Koska sivutiereitin ilmaäänene-

ristuskyky vaikuttaa myös huoneistojen väliseen ilmaääneneristyslukuun, on kappaleessa 5.5 esitettyjen laskentatuloksien perusteella syytä olettaa, että raskas julkisivukorjaus jossa elementin ulkokuori puretaan pois, muuttaa myös huoneistojen välistä ilmaääneneristävyttä.

Tämän tutkimuksen yhteydessä huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun muu-
tosta tutkittiin laskennallisesti kappaleessa 7.1 esitetystä kuvitteellisesta esimerkki-
kohteesta. Laskennallisen analyysin tuloksien perusteella tehtyjen johtopäätösten
luotettavuutta tarkasteltiin lisäksi julkisivukorjauskohteissa suoritetuilla ilmaäänene-
ristysluvun mittauksilla.

9.2 Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun laskenta

Tutkimuksessa käsitelty huoneistojen väliset ilmaääneneristysluvut laskettiin stan-
dardin EN 12354-1 mukaan. [45] Standardissa on esitetty yksilukuinen laskentamalli,
joka perustuu rakenteiden ilmaääneneristyslukuun (R_w), taulukkomitoituksella mää-
ritettävään liitoseristävyyteen, tiloja erottavaan pinta-alaan sekä rakenteiden väli-
siin liitospituuksiin. Laskentamalli ottaa huomioon ainoastaan 1. kertaluvun sivutiesiirtymän,
eli sivutiesiirtymän joka tapahtuu korkeintaan kahden rakenteen kautta. Lähetyshuoneen
puolella tiloja erottavaa rakennetta merkitään symbolilla D ja vas-
taanottohuoneen puolella symbolilla d . Vastaavasti sivuavaa rakennetta kuvataan
lähetyshuoneen puolella symbolilla F ja vastaanottohuoneen puolella symbolilla f .
Kuvassa 9.1 on esitetty laskennassa käytetty sivuteiden nimeämisperiaate.



Kuva 9.1: Siirtymäreitit erottavan rakenteen kautta sekä 1. asteen sivutiesiirtymät.

Laskennassa käytettäviä äänen siirtymäreittejä on yhteensä 13 kappaletta, kun otetaan huomioon kuvassa 9.1 esitetyt 1. kertaluvun siirtymisreitit sekä erottavan rakenteen kautta välittyvä ääni. Standardin EN 12354-1 mukaiset siirtymäreitit ovat:

suoraan erottavan rakenteen kautta	Dd	1 kpl
erottavan ja sivuavan rakenteen kautta	Df	4 kpl
sivuavan ja erottavan rakenteen kautta	Fd	4 kpl
sivuavan ja sivuavan rakenteen kautta	Ff	4 kpl

Huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku (R'_w) muodostetaan laskemalla ensin yksittäisten reittien ilmaääneneristävyys sivutiesiirtymälle kaavojen 9.1, 9.2 ja 9.3 mukaan. Suoraan erottavan rakenteen kautta siirtyvälle äänelle käytetään kyseisen rakenteen ilmaääneneristyslukua, $R_{Dd,w} = R_{s,w}$.

$$R_{Df,w} = \frac{R_{s,w} + R_{f,w}}{2} + K_{Df} + 10 \log_{10} \frac{S_s}{I_f} \quad (9.1)$$

$$R_{Fd,w} = \frac{R_{F,w} + R_{s,w}}{2} + K_{Fd} + 10 \log_{10} \frac{S_s}{I_f} \quad (9.2)$$

$$R_{Ff,w} = \frac{R_{F,w} + R_{f,w}}{2} + K_{Ff} + 10 \log_{10} \frac{S_s}{I_f} \quad (9.3)$$

Kaavoissa 9.1, 9.2 ja 9.3:	$R_{s,w}$	on tiloja erottavan rakenteen ilmaääneneristysluku
	$R_{F,w}$	on lähetyshuoneen puolella sivuavan rakenteen F ilmaääneneristysluku
	$R_{f,w}$	on vastaanottohuoneen puolella sivuavan rakenteen f ilmaääneneristysluku
	K_{Df}	on reitin Df liitoksen värähtelyeristävyys
	K_{Fd}	on reitin Fd liitoksen värähtelyeristävyys
	K_{Ff}	on reitin Ff liitoksen värähtelyeristävyys
	S_s	on huoneistoja erottavan rakenteen pinta-ala
	I_f	on erottavan rakenteen sekä siihen liittyvän rakenteen välinen liitospituus

Kaavoissa 9.1, 9.2 ja 9.3 ei ole esitetty standardissa EN 12354-1 esitettyjä, rakenteen päälle tehdyn lisäkerroksen tuottamia ilmaääneneristysluvun parannuksia

$(\Delta R_i, w)$ [45], sillä tämän tutkimuksen yhteydessä tarkasteltiin ainoastaan yksinkertaisia, alkuperäistä rakennetta vastaavia rakenteita.

Kun kaikki kolmentoista eri reitin ilmaääneneristävyys on laskettu, saadaan huoneistojenvälinen ilmaääneneristysluku R'_w laskemalla tulokset yhteen kaavan 9.4 mukaan.

$$R'_w = -10 \log_{10} \left(10^{-\frac{R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^4 10^{-\frac{R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^4 10^{-\frac{R_{Fd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^4 10^{-\frac{R_{Df,w}}{10}} \right) \quad (9.4)$$

Standardissa EN 12354-1 esitelty yksilukuinen laskentamalli soveltuu käytettäväksi ainoastaan tilanteissa, joissa huoneistoja erottava rakenne on massiivinen. [7] Tämän tutkimuksen yhteydessä käsiteltävissä huoneistojen välisissä ääneneristystapauksissa erottavana rakenteena toimii tutkimuksen aikarajauksen mukaiselle rakennuskannalle tyypillisesti joko kantava 180 mm paksu betoniseinä tai massiivinen välipohjarakenne. Käytetty yksilukuinen laskentamalli soveltuu hyvin myös rakenteiden muutoksien aiheuttaman vaikutuksen tarkasteluun.

Käytetyn laskentamallin avulla ei ole mahdollista vertailla taajuuskaistaisia muutoksia, sillä laskennan lähtötiedot sekä tulokset esitetään yksilukuisina ilmaääneneristyslukuina. Huoneistojen väliset ilmaääneneristysvaatimukset on kuitenkin myös esitetty ilmaääneneristyslukuina, joten ääneneristysvaatimusten täyttymisen tarkastelu on mahdollista myös ilmaääneneristyslukuihin perustuvan yksilukuisen laskentamallin avulla. Laskentamallin laskentatarkkuus on tämän tutkimuksen kannalta riittävä, sillä 1. kertalukua suurempien sivuteiden vaikutus sivutiesiirtymien kautta välittyvään energiamäärään vastaa ainoastaan noin yhtä desibeliä. [7]

9.2.1 Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun muutos esimerkkikohteessa

Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun muutosta tarkasteltiin laskennallisesti kappaleessa 7.1 esitetyssä kuvitteellisessa esimerkkikohteessa. Huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista sekä ilmaääneneristysluvun muutos ulkokuoren purkamisen yhteydessä laskettiin kuvassa 7.3 esitetyissä huonetiloissa. Taulukossa 9.1 on esitetty kuvassa 7.3 esitettyjen laskentatapauksen sanallinen kuvaus. Sarakkeen "tunnus"numeroilla viitataan huoneisiin, joiden välillä ilmaääneneristysluku laskettiin. Sarakkeen numerointi vastaa kuvassa 7.2 käytettyä huoneiden numerointia.

Julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen aiheuttama muutos huoneistojen väliseen ilmaääneneristyslukuun laskettiin kaikissa seitsemässä laskentatapauksessa

Taulukko 9.1: Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun muutoksen laskennassa käytetyt huonetilat.

Tapaus	Tunnus	Laskentatapauksen kuvaus
1	1 - 1	Olohuone - olohuone, vaakasuunnassa. Vierekkäisissä rappukäytävissä olevat asunnot. Asunnot ovat toistensa peilikuvia. Erottavan rakenteen pinta-ala: 10,2 m ² .
2	1 - 1	Olohuone - olohuone, pystysuunnassa. Samassa rappukäytävässä olevat päällekkäiset asunnot. Erottavan rakenteen pinta-ala: 30 m ² .
3	2 - 2	Makuuhuone - makuuhuone, vaakasuunnassa. Vierekkäisissä rappukäytävissä olevat asunnot. Asunnot ovat toistensa peilikuvia. Erottavan rakenteen pinta-ala: 8,8 m ² .
4	4 - 5	Huone - olohuone, vaakasuunnassa. Samassa rappukäytävässä olevat vierekkäiset asunnot. Erottavan rakenteen pinta-ala: 10,2 m ² .
5	4 - 4	Huone - huone, pystysuunnassa. Samassa rappukäytävässä olevat päällekkäiset asunnot. Erottavan rakenteen pinta-ala: 23,9 m ² .
6	5 - 5	Olohuone - olohuone, pystysuunnassa. Samassa rappukäytävässä olevat päällekkäiset asunnot. Erottavan rakenteen pinta-ala: 51,9 m ² .
7	8 - 8	Makuuhuone - makuuhuone, pystysuunnassa. Samassa rappukäytävässä olevat päällekkäiset asunnot. Erottavan rakenteen pinta-ala: 12,8 m ² .

kuudella eri ei-kantavan julkisivuelementin ilmaääneneristysluvun muutoksella sekä kahdella kantavan julkisivuelementin ilmaääneneristysluvun muutoksella kappaleessa 9.2 esitetyn laskentatavan mukaan. Julkisivuelementtien ilmaääneneristysluvun muutokset valittiin kappaleen 5.5 perusteella edustamaan yleisimpien muutoksien lisäksi myös poikkeustapauksia, joissa rakenteen ilmaääneneristysluku muuttuu huomattavasti. Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun laskennassa käytetyt julkisivuelementtien ilmaääneneristysluvun muutokset ovat:

Ei-kantavat elementit,

Muutos 1: 7 dB (R_w : 50 dB \Rightarrow 43 dB)

Muutos 2: 9 dB (R_w : 50 dB \Rightarrow 41 dB)

Muutos 3: 6 dB (R_w : 52 dB \Rightarrow 46 dB)

Muutos 4: 12 dB (R_w : 52 dB \Rightarrow 40 dB)

Muutos 5: 9 dB (R_w : 53 dB \Rightarrow 44 dB)

Muutos 6: 5 dB (R_w : 55 dB \Rightarrow 50 dB)

Kantavat elementit,

Muutos 1: 3 dB (R_w : 58 dB \Rightarrow 55 dB)

Muutos 2: 4 dB (R_w : 59 dB \Rightarrow 55 dB)

Vaakasuunnassa huoneistoja erottavana rakenteena käytettiin massiivista 180 mm betoniväliseinää ($R_w = 59$ dB, $m' = 450$ kg/m²) ja pystysuunnassa 265 mm ontelolaatastoa ($R_w = 61$ dB, $m' = 380$ kg/m²). Sivuavina rakenteina käytettiin huoneti-
lasta riippuen julkisivuelementin lisäksi joko kantavaa betoniväliseinää (tapaukset: 2, 5 ja 6), ontelolaatastoa (tapaukset: 1, 3 ja 4) tai kevyttä väliseinää (tapaukset: 1, 2, 3, 4, 6 ja 7), jonka ilmaääneneristysluku $R_w = 38$ dB ja pinta-massa $m' = 25$ kg/m². Taulukossa 9.2 on esitetty sivuavat rakenteet laskentatapauksittain, sekä sivuti-
viereittien liitospituudet. Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun laskennassa käytetyt lähtötiedot on esitetty tarkemmin liitteessä 8.

Taulukko 9.2: Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun laskennassa käytetyt sivuavat rakenteet sekä rakenteiden liitospituudet.

Tapaus	Sivuava rak. 1.	Sivuava rak. 2.	Sivuava rak. 3.	Sivuava rak. 4.
1.	Sw, EK: 2,5 m	O 256: 4,1 m	Kevyt: 2,5 m	O 265: 4,1 m
2.	Sw, EK: 5,8 m	Kantava: 4,1 m	Kevyt: 7,6 m	Kantava: 4,9 m
3.	Sw, EK: 2,5 m	O 265: 3,5 m	Kevyt: 2,5 m	O 265: 3,5 m
4.	Sw, EK: 2,5 m	O 265: 4,1 m	Kevyt: 2,5 m	O 265: 4,1 m
5.	Sw, EK: 5,8 m	Kantava: 4,6 m	Kantava: 5,8 m	Kantava: 4,6 m
6.	Sw, EK: 9,4 m	Kantava: 9,4 m	Kevyt: 16,6 m	Sw, K: 4,4 m
7.	Sw, EK: 3,7 m	Kevyt: 3,7 m	Kevyt: 3,5 m	Sw, K: 3,5 m

Taulukossa 9.2: *Sw, EK* on ei-kantava julkisivuelementti.

O265 on ontelolaatta 265 mm.

Kevyt on kevyt väliseinä (kipsilevy).

Kantava on kantava betoniväliseinä 180 mm.

Sw, K on kantava julkisivuelementti.

Taulukossa 9.3 on esitetty huoneistojenvälisen ilmaääneneristysluvun laskentatulo-
lokset. Rivillä *Lähtötilanne* on esitetty huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku en-
nen julkisivuelementin purkua ja rivillä *Muutos* ilmaääneneristysluvun muutos kun
julkisivuelementin ulkokuori puretaan pois. Laskentatapauksissa 6. ja 7. sivuavana
rakenteena on sekä kantava että ei-kantava julkisivuelementti, jolloin laskentatapauk-
sissa on kaksi muuttujaa. Merkinnöillä 6.1 ja 6.2 viitataan laskentatapaukseen kuusi
ja kantavan julkisivuelementin muutoksiin yksi ja kaksi. Vastaavasti merkinnöillä
7.1 ja 7.2 viitataan laskentatapaukseen seitsemän ja kantavan julkisivuelementin
muutoksiin yksi ja kaksi.

Taulukko 9.3: Huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku sekä ilmaääneneristysluvun muutos, kun julkisivuelementin ulkokuori puretaan pois.

Laskentatapaus	Julkisivuelementin ilmaääneneristysluvun muutostapaukset.					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Lähtötilanne, 1.	56 dB	56 dB	57 dB	57 dB	57 dB	57 dB
Muutos:	0 dB	0 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB
Lähtötilanne, 2.	58 dB	58 dB	58 dB	58 dB	58 dB	59 dB
Muutos:	-1 dB	-1 dB	0 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB
Lähtötilanne, 3.	56 dB	56 dB	56 dB	57 dB	57 dB	57 dB
Muutos:	-1 dB	0 dB	0 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB
Lähtötilanne, 4.	56 dB	56 dB	57 dB	57 dB	57 dB	57 dB
Muutos:	0 dB	0 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB
Lähtötilanne, 5.	57 dB	57 dB	58 dB	58 dB	58 dB	58 dB
Muutos:	-1 dB	0 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB	0 dB
Lähtötilanne, 6.1	58 dB	58 dB	58 dB	58 dB	58 dB	59 dB
Muutos:	-1 dB	-1 dB	0 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB
Lähtötilanne, 6.2	58 dB	58 dB	58 dB	58 dB	58 dB	59 dB
Muutos:	-1 dB	-1 dB	0 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB
Lähtötilanne, 7.1	57 dB	57 dB	57 dB	57 dB	57 dB	58 dB
Muutos:	-1 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB
Lähtötilanne, 7.2	57 dB	57 dB	57 dB	57 dB	57 dB	58 dB
Muutos:	-1 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB	-1 dB

Suoritettujen laskennallisten tarkastelujen perusteella huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku heikkenee esimerkkikohteessa yhdellä desibelillä noin 80 % tapauksista (43/54 tapauksessa), kun julkisivuelementin ulkokuori puretaan pois. Yhdessäkään laskentatapauksessa muutos ei ole yhtä desibeliä suurempi. Kaikki lähtötilannetta sekä julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen jälkeistä tilannetta edustavat laskennallisesti määritetyt huoneistojen väliset ilmaääneneristysluvut ovat esimerkkikohteessa välillä 55...59 dB. Laskentatuloksien perusteella huoneistojen väliselle ilmaääneneristysluvulle asetettu tutkimuksen aikarajauksen aikana käytössä ollut ilmaääneneristyslukuvaatimus täyttyy esimerkkikohteessa kaikissa tapauksissa.

Laskennassa käytettyjen tapausten perusteella sisäkuoren paksuuden vaikutus huoneistojen väliseen ilmaääneneristyslukuun on esimerkkikohteessa huonetilasta riippuen 0...2 dB. Tuloksien perusteella tilalla sekä muilla sivuavilla rakenteilla on suuri vaikutus julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen aiheuttamaan muutokseen huoneistojen välisessä ilmaääneneristysluvussa. Ainoastaan kahdella laskennassa käytetyistä ei-kantavan julkisivuelementin ilmaääneneristysluvun muutoksista saavutetaan huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun muutos kaikissa laskentatapauksissa. Vastaavasti huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku muuttuu kaikilla ei-kantavan julkisivuelementin ilmaääneneristysluvun muutoksilla ainoastaan las-

kentatapauksen seitsemän kummassakin variaatiossa (7.1 ja 7.2).

Tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että laskennassa käytetyt olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit on muodostettu kappaleessa 4.2 esitetyllä tavalla. Tapa, jolla olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit on muodostettu sisältää kappaleessa 5.4 käsiteltyjä epävarmuustekijöitä. Kyseisillä epävarmuustekijöillä on mahdollisesti vähäinen vaikutus myös huoneistojen välistä ilmaääneneristyslukua laskettaessa. Kappaleessa 5.4 esitetyt epävarmuustekijät on otettu huomioon laskennassa käytettyjä elementtejä valittaessa ja laskennassa käytetyt elementit on pyritty valitsemaan niin, että epävarmuustekijät eivät vääristä laskentatuloksien perusteella tehtyjä johtopäätöksiä.

9.3 Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun mittaaminen

Tutkimuksen yhteydessä suoritettiin laskennallisen analyysin lisäksi huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun mittauksia raskaan julkisivukorjauksen yhteydessä ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista sekä sen jälkeen. Vertaamalla kolmannesoktaavikaistaisia mittaustuloksia yksilukuisen laskennan tuloksiin, pystytään raskaan julkisivukorjauksen vaikutuksesta huoneistojen väliseen ilmaääneneristysluvuun luomaan tarkempi kuva. Huonetilojen väliset ilmaääneneristysluvun mittaukset suoritettiin standardin SFS ISO 140-4:1998 [46] mukaan.

Standardin SFS ISO 140-4:1998 mukaisesti suoritettu huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun mittaustoteutus pääpiirteittäin seuraavasti. Lähetyshuoneeseen tuotetaan äänilähteen avulla tasainen, noin 100dB kohina taajuusalueella, joka kattaa vähintään taajuuudet 50...3150 Hz (vaaleanpunainen kohina). Tuotetun äänikentän tulee olla mahdollisimman tasainen, eikä vierekkäisten kolmannesoktaavikaistojen välinen äänenpainetasojen erotus ei saa olla yli 6 dB lähetyshuoneessa. Äänenpainetaso mitataan lähetys- ja vastaanottohuoneesta painottamattomana keskiarvona yhteensä viidestä kohdasta, vähintään 10 sekunnin kestoisina mittauksina. Vastaanottohuoneen äänenpainetason tulee ylittää taustamelutaso vähintään 10 dB. Tämän tutkimuksen yhteydessä suoritetuissa mittauksissa äänenpainetasot mitattiin kolmannesoktaavikaistaisesti taajuusalueella 50...3150 Hz. Äänenpainetasomittausten kestonä käytettiin 15 sekuntia.

Äänenpainetasomittaukset suoritetaan kahdella eri kaiutinasemalla. Näin saadaan lähetys- ja vastaanottohuoneesta yhteensä kymmenen mittausta kummastakin huonetilasta. Aktiivikaiutinta käytettäessä kaiutin sijoitetaan lähetyshuoneen nurkkaan niin, että huoneeseen muodostuva äänikenttä on mahdollisimman tasainen (diffuusi). Äänilähdettä ei kuitenkaan saa sijoittaa niin, että kaiutin osoittaa kohti mitattavaa rakennetta. Kaiutinasemaan liittyvät lähetys- ja vastaanottohuoneen äänenpainetasot tulee mitata kerralla, eikä huoneessa vallitsevaa äänikenttää saa muuttaa mittausten välillä.

Äänenpainetasoa sekä jälkikaiunta-aikaa mitattaessa mikrofoni tulee sijoittaa vähintään 1,5 metrin etäisyydellä kaikista pinnoista ja esineistä sekä vähintään 1,0 metrin etäisyydellä äänilähteestä. Mittauksen aikana mikrofoni on sijoitettuna telineeseen, jolloin mittauspaiikka säilyy muuttumattomana koko mittauksen ajan. Käytettyjen mittauspisteiden tulee sijaita vähintään 0,7 metrin etäisyydellä toisistaan. Äänilähteen tuottamien äänenpainetasojen lisäksi tulee mitata vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika sekä taustamelutaso, jotta huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku pystytään määrittelemään. Jälkikaiunta-aika mitataan kahdella eri kaiutinasemalla ja kolmella eri mikrofoniapaikalla kumpaakin kaiutinasemaa kohden. Jälkikaiunta-ajan mittauksia suoritetaan kaksi jokaista mikrofoniapaikkaa kohden, eli yhteensä vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika mitataan 12 kertaa. Vastaanottohuoneen taustamelutaso mitataan huoneen keskeltä, 50 sekunnin mittaisena painottamattomana keskiarvona. Mittaus suoritetaan noin 1,5 metrin korkeudella lattiapinnasta. Tähän tutkimukseen liittyvät mittaukset suoritettiin standardin SFS ISO 140-4:1998 mukaisesti, Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy:n mittauskalustolla. Yrityksen mittaustoiminta on ilmaääneneristyluvun mittauksien osalta akkreditoitu.

Huoneistojen välisen ilmaääneneristyluvun määrittämiseksi tarvitaan akustisten mittauksien lisäksi lähetys- ja vastaanottohuoneiden tilavuudet sekä tiloja erottavan rakenteen pinta-ala. Kaikki huoneistojen välisen ilmaääneneristyluvun määrittämisessä tarvittavat lähtötiedot on esitetty taulukossa 9.4.

Huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku (R'_w) lasketaan mittaustietojen perusteella standardissa SFS ISO 140-4 esitetyllä tavalla. Mittaustuloksiin perustuvan ilmaääneneristyluvun laskennassa käytetään rakenteiden ilmaääneneristyluvun laskennan tapaan 16 kolmannesoktaavikaistaa taajuusalueella 100...3150 Hz. [46]

Lähetys- ja vastaanottohuoneista mitatuista äänenpainetasoista lasketaan taajuuskaistaiset äänenpainetason paikkakeskiarvot kummassakin huonetilassa. Paikkakeskiarvo lasketaan kaavan 9.5 mukaan, jossa L_j on huoneesta mitattu kolmannesoktaavikaistainen äänenpainetaso.

$$L = 10 \lg \frac{1}{n} \sum_{n=1}^j 10^{L_j/10} \quad (9.5)$$

Äänenpainetasojen paikkakeskiarvon lisäksi ilmaääneneristyluvun laskentaa varten tarvitaan vastaanottohuoneen absorptioala A sekä tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S . Absorptioala saadaan laskettua mitatun jälkikaiunta-ajan perusteella Sabine kaavan (kaava 4) avulla. Mikäli tiloja erottavan rakenteen pinta-ala on alle 10 m² tai tiloilla ei ole yhteistä erottavaa rakennetta, käytetään kaavassa 9.6 erot-

Taulukko 9.4: Ilmaääneneristysluvun (R'_w) mittausta, mitattavat suureet

Tila	Mitattava suure	Määrä	Tunnus
Lähetys huone:	Äänenpainetaso, kaiutinasema 1.	5 kpl	L_1 [dB]
	Äänenpainetaso, kaiutinasema 2.	5 kpl	L_1 [dB]
	L_1 yhteensä:	10 kpl	
	Huoneen dimensiot		[m]
Vastaanottohuone:	Äänenpainetaso, kaiutinasema 1.	5 kpl	L_2 [dB]
	Äänenpainetaso, kaiutinasema 2.	5 kpl	L_2 [dB]
	L_2 yhteensä:	10 kpl	
	Jälkikaiunta-aika, kaiutinasema 3.	2 x 3 kpl	T [s]
	Jälkikaiunta-aika, kaiutinasema 4.	2 x 3 kpl	T [s]
	T yhteensä:	12 kpl	
	Taustamelutaso	1 kpl	L_A [dB]
	Huoneen dimensiot		[m]

tavan rakenteen pinta-alana arvoa 10 m^2 . Huoneistojen välinen taajuuskaistainen ilmaääneneristävyys R' lasketaan kaavan 9.6 mukaan.

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} \quad (9.6)$$

Kaavassa 9.6: L_1 on kaavan 9.5 mukainen äänitaso lähetys huoneessa

L_2 on kaavan 9.5 mukainen äänitaso vastaanottohuoneessa

S on huoneistoja erottavan rakenteen pinta-ala

A on vastaanottohuoneen absorptioala

Huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku määritetään kaavan 9.6 mukaan lasketuista kolmannesoktaavikaistaisista ilmaääneneristävyyksistä kappaleessa 5.2 esitetyllä vertailukäyrämenetelmällä. Mittaustuloksista määritetyn ilmaääneneristysluvun määrittäminen vertailukäyrämenetelmällä ei poikkea laskentatuloksiin perustuvan ilmaääneneristysluvun määrittämisestä.

9.4 As Oy Riiehenhirsi

Kohteen perustiedot:

Osoite:	Saturnuksenkatu 5 B / Otavankatu 1, RIIHIMÄKI
Rakennusvuosi:	1974
Rakennuskannan kuvaus:	Kaksi neljäkerroksista asuinkerrostaloa, yhteensä neljä rappukäytävää.
Julkisivut:	Pesubetonipintaisia betonisandwich-elementtejä

Vuonna 2005 suoritetun kuntotutkimuksen perusteella julkisivuelementeissä on havaittavissa pakkasrapautumaa. Pakkasrapautuman aiheuttamien vaurioiden lisäksi myös merkittävä osa julkisivuelementtien teräksistä sijaitsee karbonatisoituneessa betonissa. Taloyhtiö on valinnut julkisivujen korjaustavaksi julkisivuelementtien ulkokuoren uusimisen. [48] Kohteen korjaussuunnittelijalta saadun tiedon perusteella kohteen julkisivuelementtien rakennekerroksien paksuudet ovat tehtyjen havaintojen perusteella seuraavat:

Rakennekerros	Todettu paksuus	Suunnittelupaksuus
Ulkokuori	30...60 mm	80 mm
Lämmöneriste	60...125 mm	120 mm
Sisäkuori (ei-kantava)	20...80 mm	60 mm
Sisäkuori (kantava)	100...200	160 mm

Korjaussuunnittelijalta saadun tiedon perusteella huoneistojen väliset väliseinät ovat 160mm teräsbetoniseiniä ja välipohjarakenteena on käytetty Nilcon-laattaa. Ikkunat ovat alkuperäisiä kolminkertaisia puuikkunoita. Ikkunoissa on havaittu kuntotutkimusraportin perusteella puutteita tiiveydessä. [47]

Rakennuksen parvekkeet sijaitsevat etelän puoleisella julkisivulla. Kohteen parvekerakenteet uusittiin kokonaan julkisivukorjauksen yhteydessä. Tähän tutkimukseen liittyvät mittaukset suoritettiin Saturnuksenkadun suuntaisen rakennuksen itäpäädyssä, rakennuksen A-rappukäytävässä. Huoneistoissa joissa mittaukset suoritettiin ei ole parvekkeita, eikä parvekerakenteisiin kohdistuvat muutoksen näin vaikuta mitausten tuloksiin. Kuvassa 9.2 on esitetty julkisivuosuus, jossa mittaukset suoritettiin.

9.4.1 Tilanne ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista

Huoneistojen välisen ilmaääneneristävyys lähtötilanne selvitettiin mittaamalla huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku ennen julkisivuelementin ulkokuoren pur-



Kuva 9.2: Mittausten suoritusalue, As Oy Riihenhirs. Kuva: *maps.google.com*

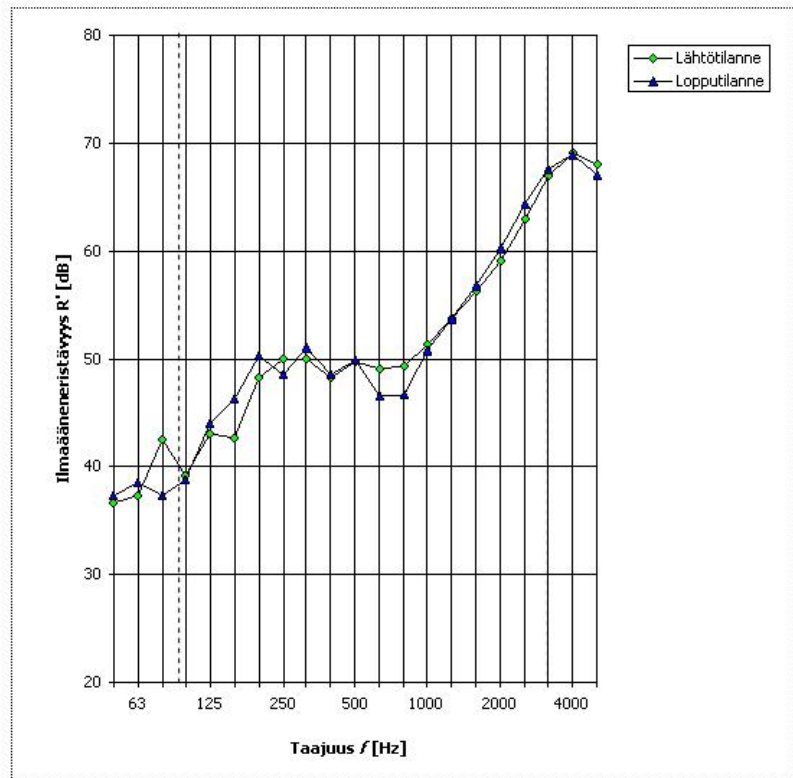
kamista. Mittaukset suoritettiin 29.3.2010 rakennuksen 2. ja 3. kerroksessa sijaitsevista huoneistoista. Mittaushetkellä alimman kerroksen julkisivuelementtien ulkokuorta oli purettu alareunasta noin metrin kaistale maanpinnan tasosta ylöspäin. Mittauksessa käytettyjen huoneistojen kohdalla elementit olivat vielä alkuperäisessä kunnossa.

1. mittausta suoritettiin rakennuksen 2. kerroksessa, asunnon A6 makuuhuoneesta asunnon A5 makuuhuoneeseen. Huoneet ovat keskenään samanlaiset, mutta toistensa peilikuvat. Puolen kuutiometrin tarkkuudella laskettuna lähetysruokkeen tilavuus on 29 m^3 ja vastaanottohuoneen $28,5 \text{ m}^3$. Huoneita erottavan kantavan betoniväliseinän pinta-ala on 10 m^2 .

2. mittausta suoritettiin rakennuksen 2. kerroksen asunnon A5 makuuhuoneesta 3. kerroksen asunnon A9 makuuhuoneeseen. Huoneet ovat keskenään samanlaiset ja sijaitsevat päällekkäin. Puolen kuutiometrin tarkkuudella laskettuna lähetysruokkeen tilavuus on $28,5 \text{ m}^3$ ja vastaanottohuoneen 29 m^3 . Huoneita erottavan Nilcon-laatta välipohjan pinta-ala on 12 m^2 .

Mitattujen äänitasojen perusteella laskettuna huoneistojen A6 ja A5 makuuhuoneiden välinen ilmaääneneristysluku R'_w on ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista 53 dB ($C = -1 \text{ dB}$ ja $C_{tr} = -4 \text{ dB}$). Vastaavasti huoneistojen A5 ja A9 ma-

f [Hz]	R' [dB]	R' [dB]
50	36,7	37,3
63	37,3	38,6
80	42,6	37,4
100	39,2	38,8
125	43,1	44,0
160	42,7	46,2
200	48,2	50,3
250	50,0	48,6
315	50,0	51,1
400	48,3	48,6
500	49,8	49,9
630	49,1	46,5
800	49,3	46,7
1000	51,4	50,8
1250	53,8	53,8
1600	56,3	56,8
2000	59,1	60,3
2500	63,0	64,4
3150	67,0	67,6
4000	69,1	68,9
5000	68,0	67,1



Kuva 9.3: Mittaustulokset As Oy Riiehenhirs, MH A5 - MH A9

kuuhuoneiden välinen ilmaääneneristysluku R'_w on 53 dB ($C = 0$ dB ja $C_{tr} = -3$ dB) ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista. Kumpikin mittaustulos täyttää rakennushetkellä voimassa olleen huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun vaatimuksen.

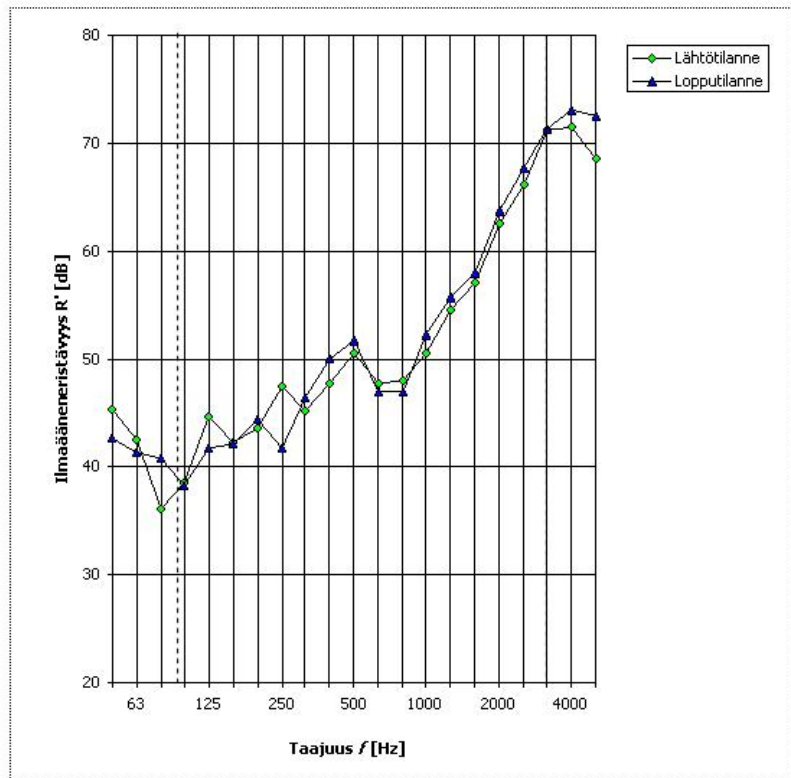
9.4.2 Tilanne julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen jälkeen

Huoneistojen väliset ilmaääneneristysluvut mitattiin uudestaan samoissa huoneiloissa julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen jälkeen. Mittaukset suoritettiin 29.4.2010. Huoneistoissa ei tapahtunut muita muutoksia kyseisenä ajanjaksona.

Mitattujen äänitasojen perusteella laskettuna huoneistojen A6 ja A5 makuuhuoneiden välinen ilmaääneneristysluku R'_w on julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen jälkeen 53 dB ($C = -1$ dB ja $C_{tr} = -4$ dB). Vastaavasti huoneistojen A5 ja A9 makuuhuoneiden välinen ilmaääneneristysluku R'_w 53 dB ($C = -1$ dB ja $C_{tr} = -3$ dB). Kumpikin mittaustulos täyttää rakennushetkellä voimassa olleen huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun vaatimuksen.

Kuvissa 9.3 ja 9.4 on esitetty mittaustulosten perusteella piirretty kolmannesoktaavikaistaiset ilmaääneneristyskuvaajat. Kuvaajissa on esitetty tilanne ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista, sekä sen jälkeen. Kuvaajien perusteel-

f [Hz]	R' [dB]	R'' [dB]
50	45,3	42,7
63	42,6	41,4
80	36,1	40,8
100	38,5	38,2
125	44,7	41,7
160	42,3	42,1
200	43,6	44,4
250	47,5	41,7
315	45,2	46,4
400	47,7	50,0
500	50,5	51,7
630	47,7	46,9
800	48,0	46,9
1000	50,6	52,2
1250	54,5	55,8
1600	57,1	58,0
2000	62,5	63,8
2500	66,2	67,7
3150	71,2	71,3
4000	71,4	73,1
5000	68,5	72,6



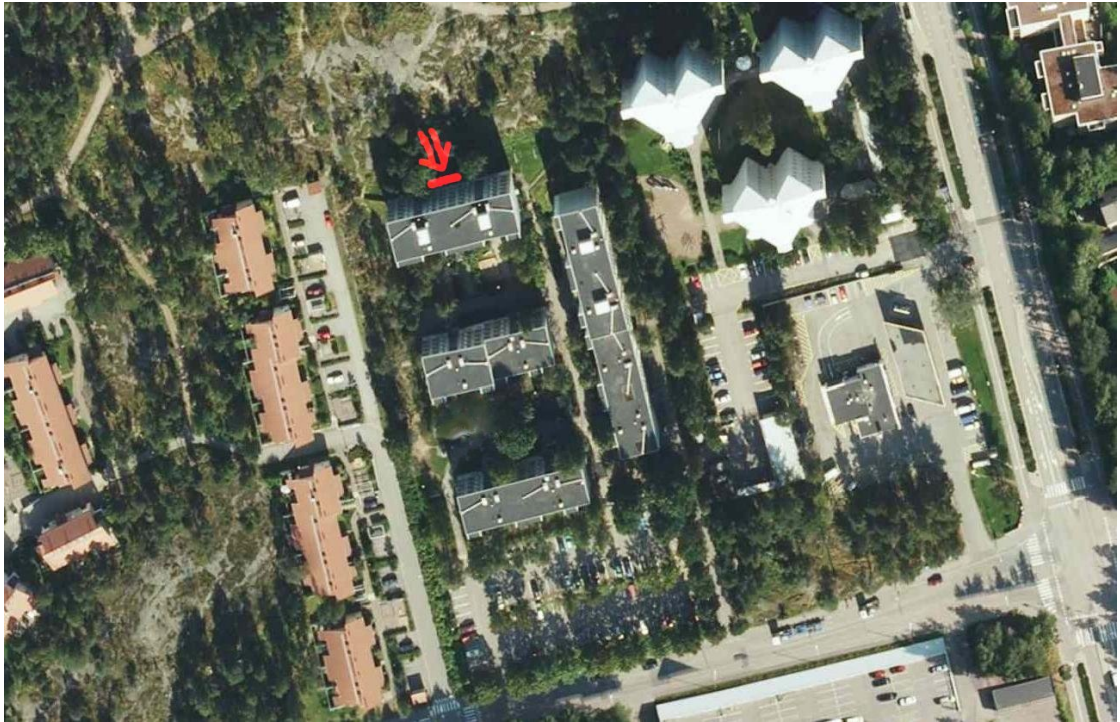
Kuva 9.4: Mittaustulokset As Oy Riiehenhirs, MH A6 - MH A5

la on havaittavissa, että suurimmat ilmasteneristyskyvyn muutokset sijoittuvat kummassakin tapauksessa alle 1250 Hz taajuusalueelle. Laskennallisesti tarkasteltuna huoneistojen välinen ilmasteneristysluku ei muutu kummassakaan tapauksessa. Yksilukuisia mittalukuja tarkasteltaessa ainoa muutos tapahtuu asuntojen A5 ja A9 väliselle ilmasteneristysluvulle lasketulle lentomelun korjaustermille C , joka muuttuu arvosta 0 dB arvoon -1 dB. Huoneistojen välisen ilmasteneristysluvun mittausraportit on esitetty liitteessä 9.

9.5 Vuosaaren Kiinteistöt Oy, Rastilantie 5

Kohteen perustiedot:

Osoite:	Rastilantie 5, HELSINKI
Rakennusvuosi:	1974
Rakennuskannan kuvaus:	Neljä 4-5 kerroksista asuinkerrostaloa, yhteensä kymmenen rappukäytävää.
Julksivut:	Pesubetonipintaisia betonisandwich-elementtejä. Parvekkeiden taustaseinät ovat kevytrakenteisia.



Kuva 9.5: Mittausten suoritusalue, Rastilantie 5. Kuva: *maps.google.com*

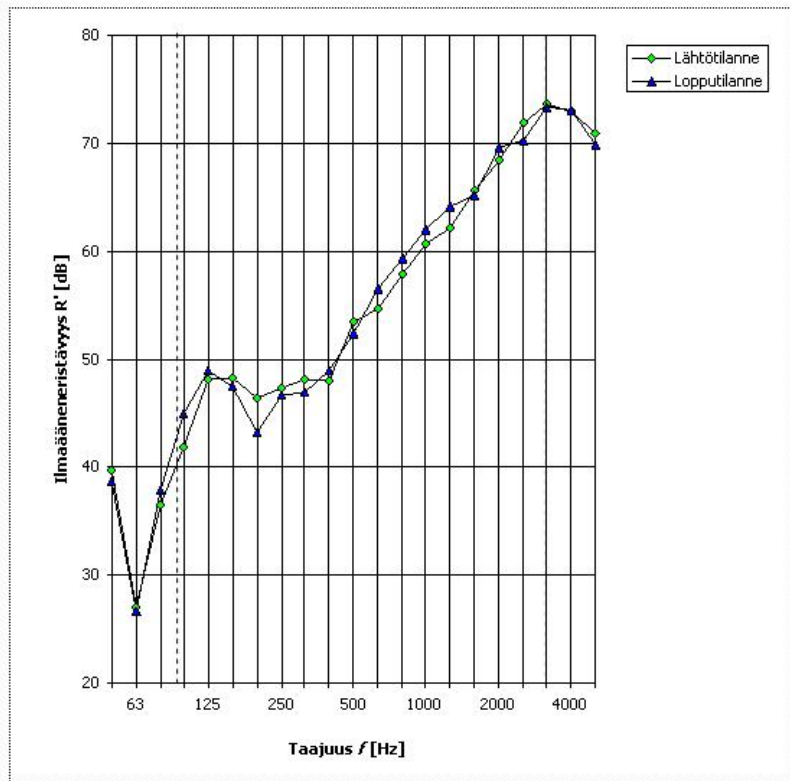
Tutkimuksen yhteydessä ei ollut käytettävissä kohteen korjaukseen liittyviä asiakirjoja. Tästä syystä korjaustaparatkaisuu johtaneet syyt ja rakenteen vaurioitumissaste ei ollut tiedossa tutkimusta suoritettaessa. Kohteeseen liittyvien alkuperäisten asiakirjojen perusteella kohteen julkisivuelementtien rakennekerroksien suunnittelupaksuudet ovat seuraavat:

Rakennekerros	Suunnittelupaksuus
Ulkokuori	55 mm
Lämmöneriste	85 mm
Sisäkuori (ei-kantava)	80 mm
Sisäkuori (kantava)	160 mm

Asiakirjojen perusteella vaakasuunnassa huoneistoja erottavana rakenteena on käytetty kantavaa 160 mm paksua betoniväliseinää. Pystysuunnassa huoneistoja erottavasta välipohjarakenteesta ei ole asiakirjoihin perustuvaa tietoa. Kohteella tehtyjen havaintojen perusteella välipohjarakenne on todennäköisesti paikallavalettu betonilaatta. Rakenteessa ei ole havaittavissa elementtirakenteisille laatoille tyypillisiä saumoja.

Huoneistojen välisen ilmastäneristysluvun mittaukset suoritettiin itä-länsi-suunnassa sijaitsevassa rakennuksessa, I-rappukäytävässä. Kyseinen rakennus on kolmesta samansuuntaisesta rakennuksesta pohjoisin. Ilmastäneristysluvun mit-

f [Hz]	R' [dB]	R'' [dB]
50	39,8	38,7
63	27,1	26,7
80	36,5	37,9
100	41,9	45,0
125	48,1	48,9
160	48,3	47,5
200	46,4	43,2
250	47,4	46,7
315	48,1	47,0
400	48,0	48,9
500	53,5	52,4
630	54,7	56,6
800	57,9	59,4
1000	60,7	62,0
1250	62,2	64,2
1600	65,6	65,2
2000	68,4	69,6
2500	71,9	70,3
3150	73,6	73,3
4000	73,0	73,1
5000	71,0	69,9



Kuva 9.6: Mittaustulokset Rastilantie 5, MH I122 - MH I125

taukset suoritettiin pohjoisen puoleisella julkisivulla sijaitsevilla huonetiloissa. Ku-
vassa 9.5 on esitetty julkisivuosuus, jossa mittaukset suoritettiin.

9.5.1 Tilanne ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamis- ta

Huoneistojen välisen ilmaääneneristävyyden lähtötilanne selvitettiin mittaamalla huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista. Mittaukset suoritettiin 12.7.2010 rakennuksen 2. ja 3. kerroksessa sijaitse-
vissa huoneistoissa. Huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku mitattiin asunnon I122 makuuhuoneesta asunnon I125 makuuhuoneeseen. Huoneet ovat keskenään sa-
manlaiset ja sijaitsevat päällekkäin. Kummankin huoneen tilavuus on puolen kuu-
tiometrin tarkkuudella laskettuna $29,5 \text{ m}^3$. Huoneita erottavan välipohjan pinta-ala on 12 m^2 .

Mitattujen äänitasojen perusteella laskettuna makuuhuoneiden välinen ilmaää-
neristysluku R'_w on ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista 58 dB (C
 $= -1 \text{ dB}$ ja $C_{tr} = -5 \text{ dB}$). Mittaustulos täyttää rakennushetkellä voimassa olleen
huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun vaatimuksen.

9.5.2 Tilanne julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen jälkeen

Huoneistojen välinen ilmasteneristysluku mitattiin uudestaan samoissa huoneistoissa julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen jälkeen. Mittaukset suoritettiin 23.8.2010. Huoneistoissa ei tapahtunut muita muutoksia kyseisenä ajanjaksona.

Mitattujen äänitasojen perusteella laskettuna makuuhuoneiden I122 ja I125 välinen ilmasteneristysluku R'_w on julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen jälkeen 57 dB ($C = -1$ dB ja $C_{tr} = -4$ dB). Kuvassa 9.6 on esitetty mittaustulosten perusteella piirretty kolmannesoktaavikaistainen ilmasteneristyskuvaaja. Kuvaajassa on esitetty tilanne ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista, sekä sen jälkeen. Kuvaajan perusteella on havaittavissa, että huoneistojen välisen ilmasteneristävyyden muutokset ovat vähäisiä. Laskennallisesti tarkasteltuna huoneistojen välinen ilmasteneristysluku pienenee julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen yhteydessä yhdellä desibelillä arvosta 58 dB arvoon 57 dB. Myös ilmasteneristysluvun korjaustermeissä tapahtuu muutoksia.

Julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen jälkeistä tilannetta edustava ilmasteneristysluku täyttää rakennusajankohtana voimassa olleen huoneistojen väliselle ilmasteneristysluvulle asetetun vaatimuksen. Huoneistojen välisen ilmasteneristysluvun mittausraportit on esitetty liitteessä 9.

9.6 As Oy Pirkkalanhovi

Kohteen perustiedot:

Osoite:	Suupakuja 16 - 18, PIRKKALA
Rakennusvuosi:	1974
Rakennuskannan kuvaus:	Kaksi 3-4 kerroksista asuinkerrostaloa, yhteensä kuusi rappukäytävää.
Julkisivut:	Maalattupintaisia betonisandwich-elementtejä

Vuonna 2008 suoritettuna kuntotutkimuksen perusteella yksittäisissä julkisivuelementeissä on havaittavissa pakkasrapautuman aiheuttamia vaurioita. Myös korrosiovaurioiden määrä on kuntotutkimuksen perusteella paikoitellen jo merkittävä. Kohteen julkisivut on aikaisemmin huoltomaalattu ja maalauksen yhteydessä korjaushetkellä olemassa olleet vauriot on peitetty. Taloyhtiö on valinnut korjaustavaksi julkisivujen lisälämmöneristuksen. Pahinten vaurioituneiden elementtien kohdalla alkuperäisen elementin ulkokuori puretaan pois ja tilalle tehdään uusi julkisivurakenne. [49] Kohteen korjaussuunnittelijalta saadun kuntotutkimukseen perustuvan tiedon perusteella kohteen julkisivuelementtien rakennekerrosten paksuudet ovat:

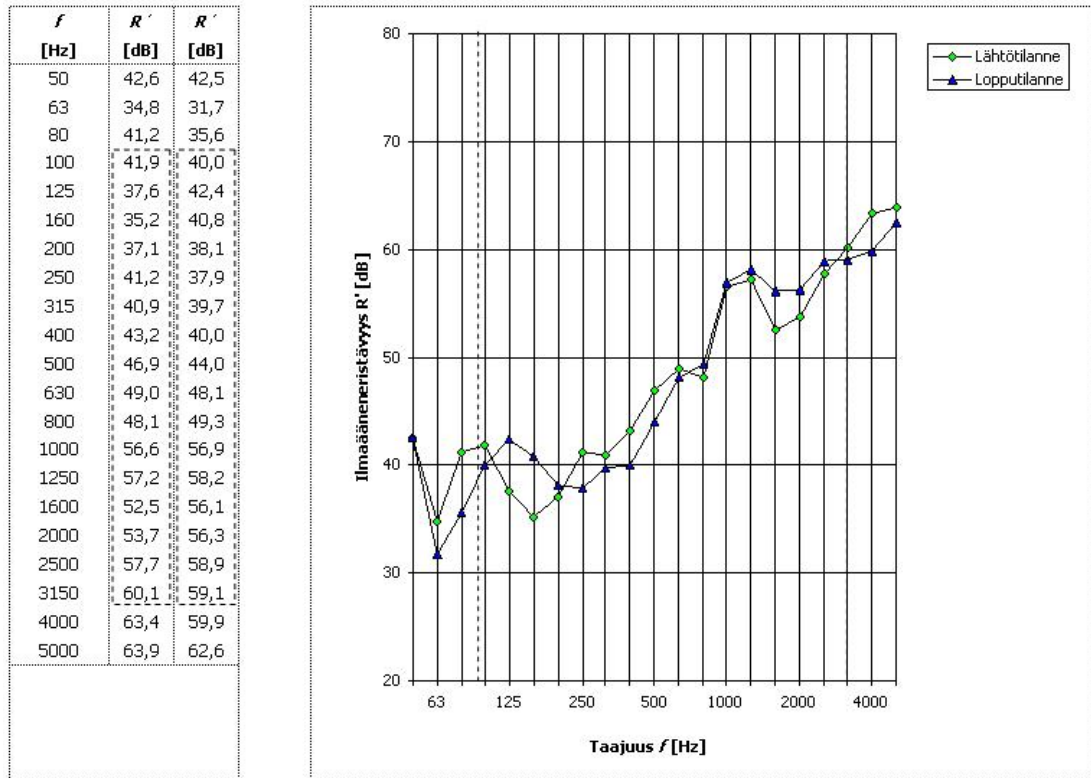


Kuva 9.7: Mittausten suoritusalue, As Oy Pirkkalanhovi. Kuva: *kartat.eniro.fi*

Rakennekerros	Todettu paksuus	Suunnittelupaksuus
Ulkokuori	55...75 mm	ei tietoa
Lämmöneriste	70...85 mm	ei tietoa
Sisäkuori (ei-kantava)	ei tietoa	ei tietoa
Sisäkuori (kantava)	ei tietoa	ei tietoa

Julkisivuelementtejä koskevia rakennetietoja lukuun ottamatta kohteen rakenteista ei ollut muita tietoja käytettävissä tätä tutkimusta tehtäessä. Kohteella tehtyjen havaintojen perusteella kohteen väliseinät ovat kaikki betonirakenteisia yksittäisiä levyrakenteisia osuuksia lukuun ottamatta. Välipohjarakenne on havaintojen perusteella todennäköisesti massiivinen betonilaatta. Rakennuksen ikkunat uusittiin ennen ensimmäisiä mittauksia.

Mittaukset suoritettiin itä-länsi -suunnassa sijaitsevan rakennuksen etelän puoleisella julkisivulla, D-rapun 2. ja 3. kerroksissa sijaitsevilla huoneistoissa. Huoneistoihin joissa mittaukset suoritettiin ei liity parvekkeita. Kuvassa 9.7 on esitetty julkisivuosuus, jossa mittaukset suoritettiin.



Kuva 9.8: Mittaustulokset As Oy Pirkkalanhovi, As D28 - As D31

9.6.1 Tilanne ennen purkua

Huoneistojen välisen ilmajeneristävyyden lähtötilanne selvitettiin mittaamalla huoneistojen välinen ilmajeneristysluku ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista. Mittaukset suoritettiin 20.5.2010 rakennuksen 1. ja 2. kerroksessa sijaitseissa yksiöissä. Huoneistojen välinen ilmajeneristysluku mitattiin asunnosta D28 asuntoon D31. Huoneistot ovat keskenään samanlaiset ja sijaitsevat päällekkäin. Mittaukseen liittyväksi alueeksi määriteltiin huoneiston olohuone, keittiö sekä eteinen, jotka ovat yhtenäistä avointa tilaa. Kummankin tilakokonaisuuden tilavuus on puolen kuutiometrin tarkkuudella laskettuna 70 m^3 . Tiloja erottavan välipohjan pinta-ala on $26,9 \text{ m}^2$.

Mitattujen äänitasojen perusteella laskettuna huoneistojen välinen ilmajeneristysluku R'_w on ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista 50 dB ($C = -1 \text{ dB}$ ja $C_{tr} = -4 \text{ dB}$). Mittaustulos ei täytä rakennushetkellä voimassa ollutta huoneistojen välisen ilmajeneristysluvun vaatimusta ($R'_w = 53 \text{ dB}$).

9.6.2 Tilanne ulkokuoren purkamisen jälkeen

Huoneistojen välinen ilmajeneristysluku mitattiin uudestaan samoissa huoneistoissa julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen jälkeen. Mittaukset suoritettiin

21.7.2010. Huoneistoissa ei tapahtunut muita muutoksia kyseisenä ajanjaksona.

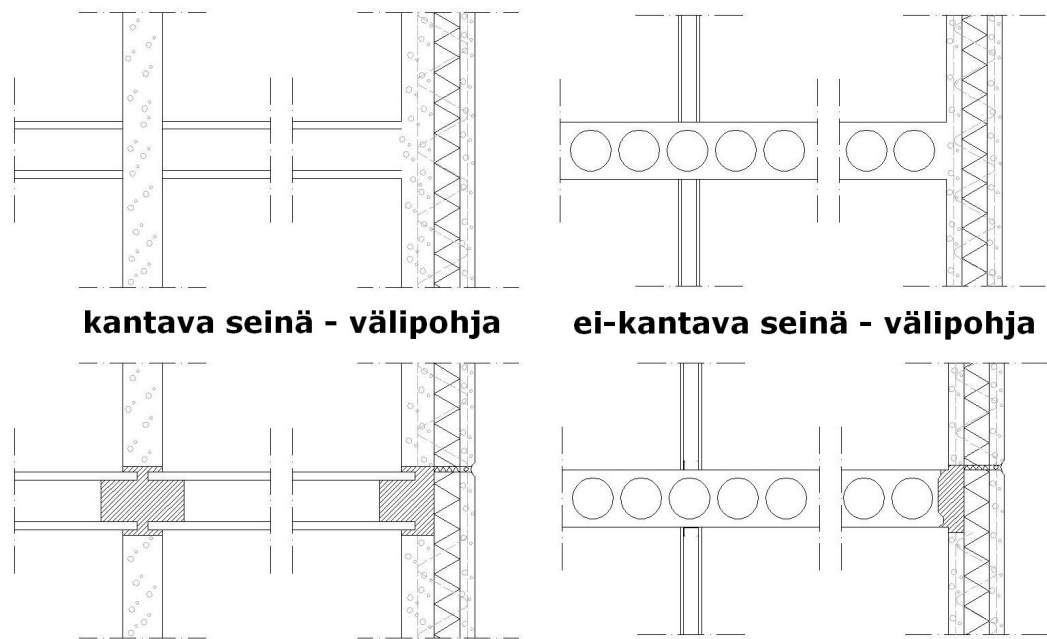
Mitattujen äänitasojen perusteella laskettuna huoneistojen D28 ja D31 välinen ilmaääneneristysluku R'_w on julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen jälkeen 49 dB ($C = -1$ dB ja $C_{tr} = -3$ dB). Kuvassa 9.8 on esitetty mittaustulosten perusteella piirretty kolmannesoktaavikaistainen ilmaääneneristyskuvaaja. Kuvaajassa on esitetty tilanne ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista, sekä sen jälkeen. Kuvaajan perusteella on havaittavissa, että ilmaääneneristyskyvyn muutokset ovat melko vähäisiä, mutta muutoksia tapahtuu lähes koko tarkasteltavalla taajuusalueella. Laskennallisesti tarkasteltuna huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku pienenee julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen yhteydessä yhdellä desibelillä arvosta 50 dB arvoon 49 dB. Myös ilmaääneneristysluvun korjaustermeissä tapahtuu muutoksia.

Julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen jälkeistä tilannetta edustava ilmaääneneristysluku ei täytä rakennushetkellä voimassa ollutta huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun vaatimusta, kuten ei täytä lähtötilanteessa mitattu ilmaääneneristyslukukaan. Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun mittausraportit on esitetty liitteessä 9.

9.7 Laskenta- ja mittaustulosten vertailu sekä tuloksien tulkinta

Laskenta- ja mittaustuloksia tarkasteltaessa on havaittavissa, että laskennallisesti määritellyt huoneistojen väliset ilmaääneneristysluvut vaihtelevat esimerkkikohteessa ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista välillä 56...59 dB. Vastaa vasti tutkimuksen yhteydessä olemassa olevasta rakennuskannasta mitatut huoneistojen väliset ilmaääneneristysluvut vaihtelevat ennen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista välillä 50...58 dB. Ulkokuoren purkamisen aiheuttama heikennys huoneistojen väliseen ilmaääneneristyslukuun on sekä laskentamallin että suoritettujen mittausten perusteella korkeintaan yhden desibelin.

Huoneistojen välistä ilmaääneneristystä on käsitelty vuonna 1979 julkaistussa *Asukas-BES: Kerrostalojen ääneneristys* -nimisessä teoksessa. [50] Julkaisun perusteella BES -ohjeen mukaisien huoneistoja erottavien välipohjarakenteiden (270 mm ontelolaatta ja Nilcon -laatta) sekä väliseinien (180 mm betoniseinä) ilmaääneneristyslukua vastaava ilmaääneneristysindeksi on noin 60...62 dB, joka vastaa tämän tutkimuksen yhteydessä käytettyjä rakenteita. Näillä rakenneratkaisuilla saavutetaan teoreettisesti 58...59 dB ilmaääneneristysluku huoneistojen välillä, mikäli liitokset ovat ehjiä ja hyvin toteutettuja. [50] Asukas-BES -tutkimuksen havainto vastaa hyvin tämän tutkimuksen yhteydessä laskennallisesti määritellyjä huoneistojen välisiä ilmaääneneristyslukuja.

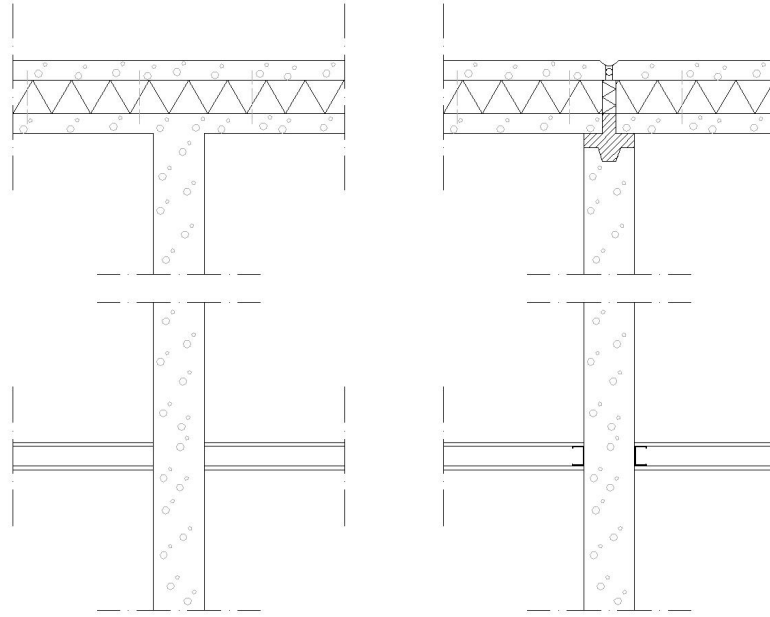


Kuva 9.9: Laskentamallin ja todellisten rakenteiden eroja. Ylärivillä laskentamallin mukainen rakenne ja alarivillä todellinen rakenne.

Yksi todennäköinen syy mittaus- ja laskentatuloksien eroihin on rakenteiden liitoksissa. Laskentamallissa sivutiireitit oletetaan akustisesti jäykiksi, yhtenäisenä jatkuviksi ja tiiviiksi. Todellisuudessa elementtien välissä on kuitenkin saumavalu, jonka halkeaminen on mahdollista ja jopa todennäköistä betonin muodonmuutoksien sekä rakennuksen liikkeiden takia. [27] [51]. Myös työn laadun puutteiden mahdollisuus on suuri. Laskentamallin sekä BES-ohjeen mukaiset liitokset on esitetty kuvissa 9.9 ja 9.10.

Asukas-BES -tutkimuksen yhteydessä on esitetty, että virheellinen tai haljennut liitos heikentää huoneistojen välistä ilmaääneneristyslukua noin 5 dB. [50] Mikäli tämän tutkimuksen yhteydessä laskennallisesti määritellyistä ilmaääneneristysluvuista vähennetään Asukas-BES -tutkimuksessa mainittu 5 dB, saadaan laskennallisesti huoneistojen väliseksi ilmaääneneristyslukuksi huonetilasta riippuen 51...54 dB. Vähennyksen jälkeen huomattava osa laskentatuloksista ei enää täytä huoneistojen väliselle ilmaääneneristävyydelle asetettuja määräyksiä, mutta laskentatulokset ovat lähempänä mittaustuloksia.

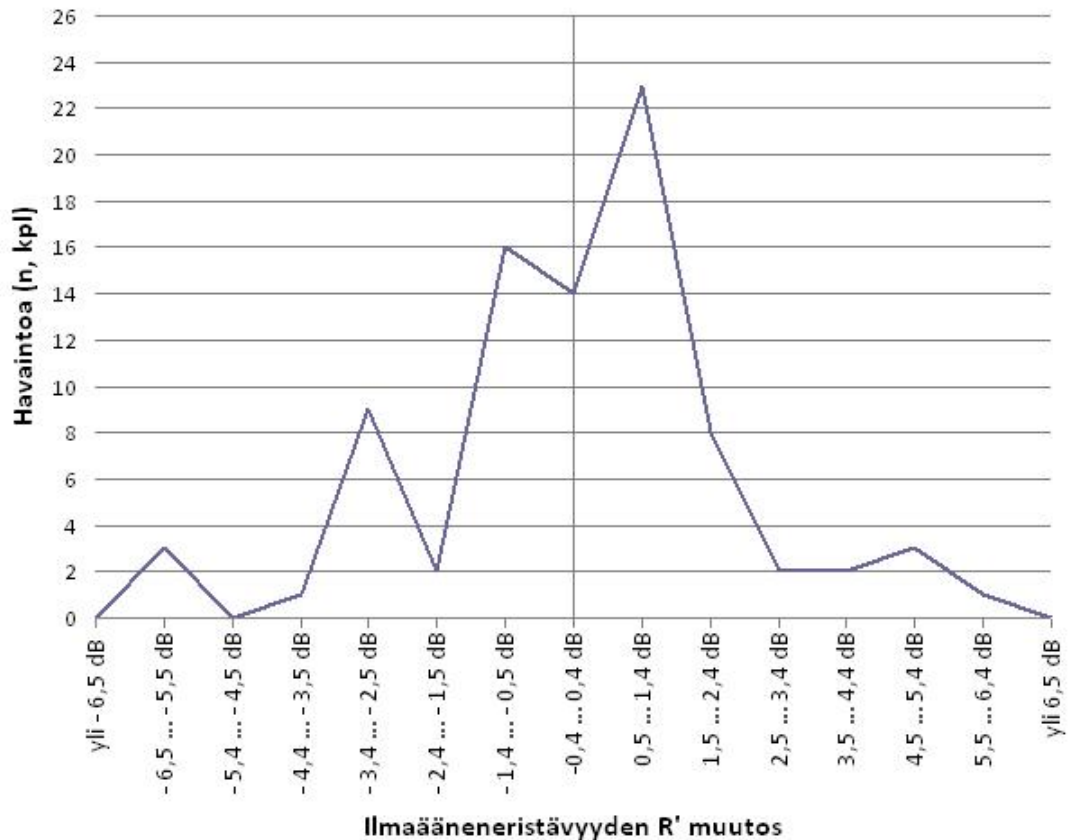
Tämän tutkimuksen yhtenä lähtökohtana oli, että huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku muuttuu, kun julkisivuelementin ulkokuori puretaan pois. Asukas-BES -tutkimuksen yhteydessä on esitetty, että ainoastaan julkisivuelementin sisäkuori toimisi sivutiireittinä. [50] Tässä tapauksessa huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku ei muuttuisi elementin ulkokuoren purkamisen yhteydessä. Asukas-BES -tutkimuksen yhteydessä on viitattu myös sivutiireittien suhteellisen pieneen vaikutukseen huoneistojen välisessä ilmaääneneristysluvussa, sillä sivutiireittien osuus on



Kuva 9.10: Laskentamallin ja todellisten rakenteiden eroja, huoneistojen välinen väliseinä. Vasemmalla laskentamallin mukainen rakenne ja oikealla todellinen rakenne.

pieni verrattuna huoneistoja erottavan rakenteen ilmaääneneristyskykyyn, kun tarkastellaan BES-ohjeen mukaista rakennusta. [50] Tämän tutkimuksen yhteydessä suoritettujen huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun mittaus- ja laskentatuloksien perusteella huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku kuitenkin muuttuu osassa tapauksista yhden desibelin. Muutos ei kuitenkaan arviolta ole niin suuri, että se olisi selvästi havaittavissa pelkästään kuuloaistin perusteella, sillä muutos ei kohdistu tutkimuksen tuloksien perusteella tietylle taajuusalueelle. Absoluuttisen tai ihmisen kokeman muutoksen tarkastelu ilmaääneneristysluvun perusteella on hankalaa myös sen takia, että ilmaääneneristysluvun määrittämistavasta johtuen 1dB muutos ilmaääneneristysluvussa saattaa vastata eri tilanteissa eri suuruista muutosta taajuuskaistaisissa tuloksissa.

Laskennallisesti määritettyjen tuloksien hajonta on huomattavasti vähäisempää kuin mitattujen ilmaääneneristyslukujen, vaikka laskennassa käytettyjen huone tilojen erot ovat selvästi suurempia kuin mittauksessa käytettyjen tilojen. Yhtenä syyinä mittaustulosten suurempaan hajontaan voidaan pitää jo mainittuja rakenteellisia puutteita sekä rakennuksen käyttöiän aikana muodostuneita halkeamia ja muutoksia. Olemassa olevassa rakennuksessa mitattaessa myös muiden sivutihereittien kuten taloteknisten järjestelmien vaikutus huoneistojen väliseen ilmaääneneristyslukuun on merkittävä. Tutkimuksen yhteydessä suoritettujen mittausten yhteydessä oli aistinvaraisesti havaittavissa, että muun muassa lämmitysjärjestelmä sekä siihen liittyvät läpiviennit välittävät ääntä paikoitellen huomattavasti enemmän kuin ympä-



Kuva 9.11: Ilmaääneneristävyyden R' muutos mitatuissa kolmannesoktaavikaistaisissa tuloksissa.

röivät rakenteet. Taloteknisten järjestelmien vaikutus on todettu myös Asukas-BES-tutkimuksen yhteydessä. Tutkimuksessa on mainittu erityisen ongelmallisina tiloina pesuhuoneet sekä keittiöt, joiden kohdalla asuntojen välisen ilmaääneneristysvaatimuksen täyttäminen on hankalaa BES-ohjeen mukaisilla ratkaisulla. [50]

Tämän tutkimuksen yhteydessä laskennallisesti määriteltujen huoneistojen välisen ilmaääneneristyslukujen muutoksien tarkempi analyysi on hankalaa, sillä yksilukuisina määriteltujen ilmaääneneristyslukujen avulla ei ole mahdollista määrittää aiheutuuko ilmaääneneristysluvun muutos tietyllä taajuusalueella tapahtuvan muutoksen seurauksena. Sen sijaan mittaustuloksia on mahdollista tarkastella taajuuskaistaisesti. Myös vertailukäyrämenetelmä, jonka avulla ilmaääneneristysluku määritetään vaikuttaa osaltaan yksilukuisiin tuloksiin. Epäsuotuisien poikkeamien summa vaihtelee tämän tutkimuksen yhteydessä suoritettujen mittauksien tapauksessa välillä 26,0...31,8 dB. Suurin epäsuotuisan poikkeaman muutos samassa kohteessa ennen ja jälkeen julkisivuelementin ulkokuoren purkamista suoritettujen mittausten välillä on 5,1 dB ja pienin 1,3 dB. Kummassakin tapauksessa huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku on muuttunut yhden desibelin. Saman suuruusluokan muu-

tos epäsuotuisassa poikkeamassa tapahtuu myös niissä tapauksissa, joissa huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku ei muutu. Vertailukäyrän vaikutus on havaittavissa myös esimerkiksi kuvissa 9.4 ja 9.6. Kuvien perusteella kuvan 9.4 tapauksessa taajuuskaistaiset muutokset ovat suurempia kuin kuvan 9.6 tapauksessa. Kuitenkin ilmaääneneristysluku muuttuu ainoastaan kuvan 9.6 tapauksessa.

Kuvassa 9.11 on esitetty mittauskohteissa mitattujen kolmannesoktaavikaistaisen ilmaääneneristävyysien muutoksien hajonta. Kaikki mitatut muutokset ovat välillä ± 6 dB, yleisimmän muutoksen ollessa välillä $+0,5 \dots + 1,4$ dB. Havainto on päinvastainen tutkimuksen lähtöolettamukselle, jonka perusteella ilmaääneneristävyyden pitäisi heikentyä kun julkisivuelementin ulkokuori puretaan pois. Kolmannesoktaavikaistaisen mittaustuloksien perusteella ei myöskään ole havaittavissa taajuusaluetta, jolla ilmaääneneristävyys heikkenisi toistuvasti. Mittaustuloksien perusteella on mahdoton osoittaa että julkisivuelementin ulkokuoren purkamisella olisi selvä ja toistuva vaikutus huoneistojen väliseen ilmaääneneristävyyteen. Tutkimuksen tuloksien perusteella on todennäköistä, että raskaan julkisivukorjauksen vaikutus huoneistojen väliseen ilmaääneneristävyyteen ei ole havaittavissa kuulolaitin avulla. Sen sijaan esimerkiksi taloteknisiin järjestelmiin kohdistuvat muutokset saattavat vaikuttaa huomattavastikin huoneistojen väliseen ilmaääneneristävyyteen.

10. TUTKIMUKSEN TULOKSET, JOHTOPÄÄTÖKSET SEKÄ LISÄTUTKIMUSTARVE

10.1 Tulosityhteenveto

Raskas julkisivukorjaus, jossa betonisandwich-elementin ulkokuori puretaan pois muuttaa korjausratkaisusta riippuen jonkin verran julkisivurakenteen massaa sekä massan jakaumaa rakenteen kerroksien välillä. Massaan kohdistuvien muutoksien lisäksi myös rakennekerroksien väliset akustiset liitokset muuttuvat. Massalla, massan jakaumalla sekä rakenteiden liitoksilla on vaikutus julkisivurakenteen ilmastoineristyskykyyn. Näin ollen voidaan todeta, että raskas julkisivukorjaus vaikuttaa myös julkisivurakenteen ilmastoineristyskykyyn.

Tutkimuksen perusteella on mahdollista muodostaa melko tarkka kuva eri aikakausina valmistuneiden julkisivuelementtien ilmastoineristyskyvystä. Aineistoista laskettujen tunnuslukujen perusteella tutkimuksessa käytetyt olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit edustavat yli 50% käytössä olleen aineiston havainnoista. Osassa aineistoista edustavuus on jopa noin 80% aineiston havainnoista. Mikäli reaali maailman rakenteiden rakennekerroksia tarkastellaan rakennekerroksien paksuuden keskiarvoina, eikä yksittäisinä näytteinä, on todennäköistä että havaintojen hajonta on vähäisempää kuin BeKo-tietokannan aineiston hajonta. [16] Vastaavasti tutkimuksen yhteydessä on oletettu, että elementin paksuus vastaa kaikissa tapauksissa suunnittelupaksuutta. Reaali maailman rakenteissa sen sijaan rakenteen kokonaispaksuudessakin esiintyy hyvin todennäköisesti jonkin verran vaihtelua.

Rakennekerroksien paksuuden lisäksi muun muassa rakenteiden työvirheet kuten "kylmäsillat", esimerkiksi huonosti aseteltujen eristeiden välistä valunut betoni joka yhdistää kuoret toisiinsa, vaikuttavat mahdollisesti huomattavasti enemmän julkisivuelementin ilmastoineristyskykyyn kuin rakennekerroksien paksuuksien muutokset. Työvirheiden ja mahdollisten vaurioiden huomioon ottaminen laskentamallissa edellyttäisi vaurioiden rakenteellisten sekä rakennusakustisten ominaisuuksien selvittämistä. Lukuisien eri muuttujien ja mahdollisuuksien takia reaali maailman rakenteet täydellisesti kattava mallintaminen on hyvin hankalaa, ellei jopa mahdotonta. Tutkimuksessa käytettyjen olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien element-

tien avulla saadaan kuitenkin muodostettua tutkimuksen kannalta riittävän hyvä käsitys rakenteiden ilmajääneristyskyvyn suuruusluokasta ja vaihteluvälistä, sillä tutkimuksessa olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien muodostamisessa käytetty havaintoaineisto on hyvin laaja ja tarkastellut laskentaelementit sisältävät havaintoaineiston hajontaa huomioon ottavia variaatioita. Tutkimuksen tuloksien perusteella tietyn aikakauden olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien laskentaelementtien ilmajääneristysluvut ovat saman kantavuustyyppin elementeillä 5 dB sisällä toisistaan.

10.1.1 Huoneistojen välisen ilmajääneristysluvun muutos

Alkuperäisen julkisivuelementin sekä jäljelle jäävän sisäkuoren ilmajääneristysluvut ovat keskeisiä suureita, kun tarkastellaan raskaan julkisivukorjauksen aiheuttamaan muutosta huoneistojen väliseen ilmajääneristyslukuun. Sivutiireittinä toimivan julkisivuelementin ilmajääneristysluvun muutoksen perusteella on mahdollista suorittaa laskennallisia tarkasteluja julkisivuelementin ulkokuoren purkamisen vaikutuksesta huoneistojen väliseen ilmajääneristyslukuun. Tutkimuksessa käytettyä yksilukuista tarkastelua tarkemmat mallinnukset edellyttäisivät lisäksi rakenteiden liitoseristävyyden selvittämisen ennen julkisivukorjausta sekä sen jälkeen. Näin olisi mahdollista muodostaa tarkempi kuva korjauksen mahdollisesta vaikutuksesta.

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien ilmajääneristyslukujen hajonta on tarkasteltavan aineiston koko huomioon ottaen melko pieni. Sen sijaan ilmajääneristysluvun muutoksessa esiintyy hieman enemmän vaihtelua. Tutkimuksessa olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien ei-kantavien julkisivuelementtien ilmajääneristysluvut vaihtelevat välillä 49...56 dB. Noin puolet lasketuista ilmajääneristysluvuista on välillä 50...53 dB. Vastaavasti olemassa olevan rakennuskannan kantavia elementtejä edustavien laskentaelementtien ilmajääneristysluvut ovat välillä 56...63 dB. Kantavien elementtien ilmajääneristyslukujen hajonta on tasaisempaa kuin ei-kantavien elementtien. Laskentatuloksia tulkittaessa on jälleen otettava huomioon, että tuloksien jakauma ei edusta olemassa olevaa rakennuskantaa, vaan olemassa olevan rakennuskannan elementtien ilmajääneristysluvun vaihteluväliä.

Julkisivuelementin ilmajääneristysluku muuttuu tutkimuksessa käytettyjen olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien ei-kantavien elementtien tapauksessa 4...13 dB, kun julkisivuelementin ulkokuori puretaan pois. Vastaavasti kantavien elementtien tapauksessa muutos vaihtelee välillä 2...7 dB. Laskennan tuloksien perusteella jäljelle jäävien sisäkuorien ilmajääneristysluku vaihtelee ei-kantavien elementtien tapauksessa välillä 40...52 dB ja kantavien elementtien tapauksessa välillä 49...61 dB. Huoneistojen välistä ilmajääneristyslukua tarkasteltaessa ei-kantavien julkisivuelementin ilmajääneristysluvun muutokset sekä sisäkuoren ilmajääneristysluvut on valittu edustamaan yleisimpien havaintojen lisäksi vaihteluvälin ääripäiviä. Huoneis-

tojen välisen ilmaääneneristysluvun laskennassa ei-kantaville elementeille käytetyt ilmaääneneristysluvun muutokset ovat välillä 5...12 dB, jäljelle jäävän sisäkuoren ilmaääneneristysluvun vaihdellessa välillä 40...50 dB. Kantavien elementtien ilmaääneneristysluvun muutokset sekä ilmaääneneristysluvut on valittu vastaamaan paremmin rakenteen sisäkuoren suunnittelupaksuuden mukaisia ominaisuuksia. Laskennassa käytettyjen kantavien laskentaelementtien ilmaääneneristysluvun muutokset ovat 3 dB ja 4 dB, jäljelle jäävän sisäkuoren ilmaääneneristysluvun ollessa 55 dB.

Yksilukuisen laskennan perusteella huoneistojen välinen ilmaääneneristysluku on laskennassa käytetyn esimerkkikohteen huonetilojen välillä ennen julkisivukorjausta huonetilasta ja käytetystä julkisivuelementin ilmaääneneristysluvusta riippuen välillä 56...59 dB. Kaikki laskentatulokset täyttävät huoneistojen väliselle ilmaääneneristysluvulle asetetun vaatimuksen (53 dB pystysuunnassa tai 52 dB vaakasuunnassa). Laskennan perusteella määritetyt tulokset poikkeavat jonkin verran tutkimuksen yhteydessä olemassa olevissa rakennuksissa mitatuista huoneistojen välisistä ilmaääneneristysluvuista. Mitatut ilmaääneneristysluvut vaihtelevat välillä 50...58 dB eivätkä näin ollen täytä kaikissa tapauksissa huoneistojen väliselle ilmaääneneristysluvulle asetettuja vaatimuksia. Lasketut ja mitatut tulokset eivät ole keskenään täysin vertailukelpoisia, sillä huoneistojen välillä saavutettuun ilmaääneneristysluvuun vaikuttaa moni asia, muun muassa huoneen ja erottavan rakenteen dimensiot, rakenteiden liitokset ja liitosten kunto sekä talotekniset järjestelmät.

Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun muutos on sekä laskentatapauksissa että mitatuissa huoneistoissa korkeintaan yhden desibelin. Mittauskohteissa muutos havaittiin kahdessa tapauksessa neljästä. Laskennallisesti muutos havaittiin 43/54 tapauksessa. Korjauksen jälkeistä tilannetta edustavien laskelmien kaikki tulokset täyttävät edelleen huoneistojen väliselle ilmaääneneristysluvulle asetetut vaatimukset. Mitatuista tuloksista yksi ei täytä huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun vaatimusta alku- eikä lopputilanteessa.

Tutkimuksen tuloksien perusteella ei havaittu merkittävää tai yksiselitteistä heikentymää huoneistojen välisessä ilmaääneneristysluvussa. Havaintojen perusteella ilmaääneneristysluvun muutos on korkeintaan yhden desibelin. Ilmaääneneristysluvun määrittämisestä, rakenteiden variaatioista sekä reaaliympäristön rakenteiden ja laskentamallin eroista johtuen ei tutkimuksen tuloksien perusteella ole mahdollista määrittää missä tapauksissa ilmaääneneristysluku muuttuu ja missä ei. Tarkemman laskennallisen analyysin suorittaminen edellyttäisi laaja-alaisen lähtötietojen keräämisen mittaamalla, jotta laskentamalli olisi mahdollista korjata vastaamaan paremmin reaaliympäristön rakenteita.

Tutkimuksen tulokset ovat yhteneviä vuonna 1979 julkaistun Asukas-BES -tutkimuksen kanssa [50]. Asukas-BES -tutkimuksessa on mainittu muun muassa ra-

kenteiden laskennallisiin tuloksiin suositeltavat heikennykset, jotta laskennalliset tulokset vastaisivat paremmin BES-aikakaudella valmistuneissa rakennuksissa saavutettuja huoneistojen välisiä ilmastueneristyslukuja. Vähennykseen vaikuttaa muun muassa rakennusvirheet sekä taloteknisten järjestelmien aiheuttamat heikennykset huoneistojen välisessä ilmastueneristyksessä. Asukas-BES -tutkimuksen perusteella myöskään julkisivuelementin ulkokuori ei olisi osana ulkoseinärakenteen muodostamaa sivutierteittä. Näin ollen myöskään julkisivuelementin ulkokuoren purkaminen ei vaikuttaisi Asukas-BES -tutkimuksen perusteella heikentävästi huoneistojen väliseen ilmastueneristyslukuun.

Tutkimuksen tuloksien perusteella yksilukuisen laskentamallin käyttö huoneistojen välisen ilmastueneristysluvun määrittelyssä ei ole suositeltavaa korjauskohteissa. Mikäli huoneistojen välisen ilmastueneristysluku määritellään tarkemmalla laskentamallilla, jossa rakenteet sekä rakenteiden liitokset vastaavat paremmin olemassa olevia rakenteita, on laskennallinen tarkastelu mahdollista myös korjauskohteissa. Laskennallinen tarkastelu edellyttää kuitenkin tarkkoja lähtötietoja ja lähtötietojen kerääminen puolestaan laaja-alaisia tutkimuksia korjauskohteessa. Tutkimuksen tuloksien perusteella ilmiön huomioiminen raskaan julkisivukorjauksen yhteydessä ei ole välttämätöntä, mikäli asuinhuoneistoihin ei suoriteta muutoksia. Mikäli asuinhuoneistoihin kohdistetaan korjauksen yhteydessä toimenpiteitä, on kevyiden huoneistojen välistä ilmastueneristystä parantavien korjausten suorittaminen suositeltavaa BES-aikakaudella valmistuneissa rakennuksissa. Tällaisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi rakenteiden liitoksien tiivistäminen elastisella saumamassalla. Huoneistojen välisen ilmastueneristyksen parantamiseksi suoritettavien korjausten yhteydessä on suositeltavaa määritellä huoneistojen välinen ilmastueneristysluku korjauskohteessa mittaamalla ennen julkisivukorjausta ja korjauksen jälkeen. Eräänä suositeltavana tapana voidaan esittää mallikorjauksen suorittamista yksittäisissä tiloissa, joiden perusteella voidaan varmistaa korjauksen toimivuus ja korjauksesta saatu hyöty juuri kyseisessä kohteessa.

10.1.2 Julkisivujen äänitasoerovaatimuksen täyttyminen julkisivukorjauksen jälkeen

Huoneistojen välisen ilmastueneristysluvun tarkastelusta poiketen, julkisivurakenteilla saavutettua äänitasoeroa tarkasteltaessa keskeisiä havaintoja ovat julkisivurakenteen tieliikennemelun korjaustermillä korjattu ilmastueneristysluku ennen julkisivukorjausta sekä korjauksen jälkeen. Ilmastueneristysluvun tavoin myös tieliikennemelun korjaustermillä korjatun ilmastueneristysluvun suuruusluokasta ja vaihteluvälistä saadaan tutkimuksen kannalta riittävä kuva olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien laskentaelementtien avulla. Tutkimuksessa käytettyjen laskentae-

lementtien $R_w + C_{tr}$ arvot vaihtelevat ei-kantavien elementtien tapauksessa välillä 47...52 dB ja kantavien elementtien tapauksessa välillä 51...58 dB. Ilmaääneneristysluvun tapaan myöskään tieliikennemelun korjaustermillä korjatut laskentatulokset eivät edusta käytetystä laskentamallista johtuen olemassa olevan rakennuskannan $R_w + C_{tr}$ -arvojen jakautumaa, vaan ainoastaan arvojen vaihteluväliä.

Korjauksen jälkeistä tilannetta edustavien rakenneratkaisuiden ilmaääneneristyskyky selvitettiin laskemalla rakenteiden ilmaääneneristyskyky eri sisäkuoren paksuuksilla. Laskennassa käytetyt sisäkuorenpaksuudet valittiin edustamaan BeKo-tietokannan avulla muodostettujen olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien sisäkuorenpaksuuksien vaihteluvälin ääripäitä. Laskentatuloksissa otettiin lisäksi huomioon alkuperäisten elementtien sisäkuoren suunnittelupaksuutta vastaavien elementtien tulokset, sillä on hyvin todennäköistä että yksittäisistä tuloksista suunnittelupaksuutta vastaavat tulokset edustavat parhaiten reaali maailman tilannetta.

Tutkimuksessa käytettyjen korjausratkaisuiden ilmaääneneristyskyky vaihtelee huomattavasti eri korjausratkaisuiden välillä. Tarkastellut korjausratkaisut voidaan jakaa karkeasti neljään eri ryhmään:

- raskaat rakenteet (rakennetyypit 1-5)
- julkisivulevyverhoillut rakenteet (rakennetyypit 6 ja 7)
- paksurapatut rakenteet (rakennetyypit 8 ja 9)
- ohutrapatut rakenteet (rakennetyypit 10 ja 11)

Ilmaääneneristävyys laskennan perusteella raskaiden rakenteiden, levyverhoiltujen rakenteiden sekä paksurapattujen rakenteiden tieliikennemelun korjaustermillä korjattu ilmaääneneristysluku on samaa luokkaa tai hieman parempi, kuin olemassa olevaa rakennuskantaa kuvaavien elementtien tieliikennemelun korjaustermillä korjattu ilmaääneneristysluku. Kyseisten korjausratkaisuiden $R_w + C_{tr}$ -arvot vaihtelevat ei-kantavien elementtien tapauksessa välillä 48...58 dB ja kantavien elementtien tapauksessa välillä 50...66 dB. Ainoastaan ohutrapattujen korjausratkaisuiden ilmaääneneristyskyky on selvästi olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien laskentaelementtien ilmaääneneristyskykyä heikompi. Ohutrapattujen korjausratkaisuiden tieliikennemelun korjaustermillä korjatut ilmaääneneristysluvut vaihtelevat ei-kantavien elementtien tapauksessa välillä 35...45 dB ja kantavien elementtien tapauksessa välillä 35...53 dB. Laskennan tuloksien vaihteluväliä paremmin tilannetta kuvaa olemassa olevien rakenteiden suunnittelu-arvoja vastaavien rakenteiden ilmaääneneristyslaskennan tulokset. Alkuperäisen julkisivuelementin sisäkuoren suunnittelupaksuutta vastaavilla sisäkuoren paksuuksilla tarkasteltuna raskaiden rakenteiden levyverhoiltujen rakenteiden sekä paksurapattujen rakenteiden $R_w + C_{tr}$ -arvot vaihtelevat ei-kantavien elementtien tapauksessa välillä 50...55 dB ja kantavien ele-

menttien tapauksessa välillä 55...60 dB korjausratkaisusta riippuen. Vastaavat arvot ohutrapatuille rakenteille ovat 35...41 dB (ei-kantavat elementit) ja 44...45 dB (kantavat elementit).

Korjausvaihtoehtojen ilmaääneneristävyytlaskennan tulokset vastaavat selvästi rakenteissa tapahtuneita muutoksia. Raskaissa rakenteissa, paksurapatuissa rakenteissa sekä levyverhoilluissa rakenteissa rakenteen massan muutos on melko pieni ja osassa korjausratkaisuista käytetty uusi kuorirakenne on alkuperäisen julkisivuelementin ulkokuorenpaksuudesta riippuen jopa raskaampi, kuin alkuperäinen rakenne. Kyseisissä korjausvaihtoehdoissa myös julkisivurakenteen ja sisäkuoren välinen liitos muuttuu akustiikan kannalta tarkasteltuna heikommaksi. Vastaavasti ohutrapatuissa rakenteissa rakenteen massa vähenee eniten, samalla kun rakennekerroksien välinen liitos muuttuu tiiviimmäksi. Tutkimuksen yhteydessä suoritettua ilmaääneneristyslaskennan perusteella ohutraappausta lukuun ottamatta tutkimuksessa tarkastelluilla korjausratkaisuilla saavutetaan ei-kantavien elementtien tapauksessa noin 3...4 dB parannus julkisivurakenteen tieliikennemelun korjaustermillä korjattuun ilmaääneneristyslukuun. Vastaavasti kantavien elementtien tapauksessa rakenteen tieliikennemelun korjaustermillä korjattu ilmaääneneristysluku paranee noin 2...4 dB. Ohutrapatuilla korjausratkaisuilla rakenteen tieliikennemelun korjaustermillä korjattu ilmaääneneristysluku heikkenee yli 10 dB.

Tutkimuksen yhteydessä esitetyt laskentatulokset on esitetty yksilukuisina ilmaääneneristyslukuina. Todellisuudessa rakenteen ilmaääneneristävyys on kuitenkin taajuudesta riippuvainen ilmiö, jota yksilukuinen ilmaääneneristysluku kuvaa. Ilmaääneneristyslukua käytetään yleensä taajuuskaistasten tuloksien sijaan, sillä yksilukuinen luku on helpompi esittää kuin taajuuskaistaiset tulokset. Lisäksi ilmaääneneristävyyksien vertailu on helpompaa suorittaa yksilukuisten tuloksien perusteella. Tutkimuksessa käytettyjä rakenteita ja niille laskettuja tuloksia vertailtaessa on kuitenkin aina muistettava, että yksilukuinen laskentatuloks ei kerro koko totuutta rakenteen ilmaääneneristyskyvystä. Vaikka rakenteen ilmaääneneristysluku säilyisi korjauksen yhteydessä muuttumattomana, saattaa sen taajuuskaistaisen ilmaääneneristävyys-kuvaajan muoto muuttua huomattavastikin alkuperäisen rakenteen kuvaajaan verrattaessa. Vastaava ilmiö esiintyy myös lähes kaikissa korjausratkaisuissa, joissa rakenteen ilmaääneneristysluku heikkenee tai paranee. Ilmiö tulee ottaa huomioon etenkin haastavilla melualueilla, jossa vilkas liikenne, teollisuus tai jokin muu äänilähde aiheuttaa tietyille taajuusalueelle voimakasta melua.

Julkisivujen äänitasoerovaatimuksen täyttymistä tarkasteltiin tutkimuksen yhteydessä kolmella eri äänitasoerovaatimuksella, $\Delta L_A = 30$ dB, 32 dB ja 35 dB. Asetettujen äänitasoerovaatimuksien täyttäminen on tutkimuksen tuloksien perusteella mahdollista olemassa olevaa rakennuskantaa edustavien elementtien ilmaääneneristyskyvyn sekä tutkimuksen aikarajauksen aikana käytössä olleiden ikkunoiden

ja ovien avulla. Tutkimuksessa käsitellyn raskaan julkisivukorjauksen yhteydessä on tyypillistä vaihtaa myös ikkuna- ja ovirakenteet, sillä korjaustapa on hankala toteuttaa niin, että olemassa olevat ikkunat ja ovet voidaan säilyttää. Ikkunoiden ja ovien vaihdosta aiheutuva taloudellinen lisäkustannus on lisäksi hyvin pieni korjauksen kokonaiskustannukseen verrattuna.

Ikkunoiden ja ovien sekä muiden julkisivuun liittyvien rakenteiden kuten korvausilmaventtiilien ilmaääneneristyskyvyllä on selvä vaikutus julkisivurakenteella saavutettuun äänitasoeroon, sillä äänitasoero muodostuu kaikkien julkisivurakenteiden kautta siirtyvän äänen perusteella. Ikkunoiden vaikutuksen voidaan katsoa olevan merkittävä, sillä ikkunarakenteen ilmaääneneristyskyky on yleensä seinärakennetta heikompi. Nykyään käytössä olevat ikkunat omaavat yleensä tutkimuksen aikarajauksen aikana käytössä olleita ikkunoita paremmat ääneneristysominaisuudet, kun tarkastellaan tieliikennemelun korjaustermillä korjattua ilmaääneneristyslukua. Näin ollen mikäli alkuperäiset ikkunat vaihdetaan paremmin ilmaääntä eristäviin ikkunoihin ja korjausvaihtoehdoksi valitaan joko raskas kuorirakenne, julkisivulevyverhous tai paksurappaus, on hyvin todennäköistä että julkisivurakenteella saavutettu äänitasoero paranee alkuperäiseen rakenteeseen verrattuna. Myös ohutrapatuilla julkisivurakenteilla on mahdollista saavuttaa hyvä äänitasoero, mutta tällöin tulee kiinnittää enemmän huomiota käytettyihin ikkunoihin. Tutkimuksen tuloksien perusteella äänitasoero vaatimuksen tarkastelussa käytetyssä esimerkkikohteessa ei-kantavan julkisivurakenteen $R_w + C_{tr}$ -vaatimus vaihtelee keskitason ikkunoilla (ikkunan $R_w + C_{tr} = 42$ dB) välillä 33...43 dB huonetilasta ja asetetusta äänitasoerovaatimuksesta riippuen ja hyvän ilmaääneneristyskyvyn omaavilla ikkunoilla (ikkunan $R_w + C_{tr} = 46$ dB) välillä 33...41 dB. Vastaavat $R_w + C_{tr}$ -vaatimukset vaihtelevat kantavien julkisivurakenteiden kohdalla välillä 37...46 dB.

Tutkimuksen tuloksien perusteella julkisivurakenteella saavutettu äänitasoero tulee ottaa huomioon korjausta suunniteltaessa etenkin, jos korjauksen kohteena oleva rakennus sijaitsee alueella jossa on voimakkaita meluhaittoja. Ongelman voi muodostaa liikenteen ja teollisuuden aiheuttamien meluhaittojen lisäksi myös jokin muu äänilähde jonka ihmiset kokevat häiritseväksi. Tällaisia melulähteitä ovat muun muassa alueet, kuten ravintolojen terassit, joille kokoontuu suuri määrä ihmisiä. Raskaan julkisivukorjauksen yhteydessä voidaan pitää suositeltavana asettaa jo suunnitteluvaiheessa muiden laatuvaatimuksien lisäksi julkisivuille äänitasoerovaatimus, vaikka sitä ei olisi kaavoituksessa määrätty. Oikein asetetun äänitasoerovaatimuksen avulla on mahdollista tuoda julkisivukorjaukselle lisäarvoa ja parantaa samalla asuinviihtyvyyttä. Tavoitteen asettaminen riittävän aikaisessa vaiheessa mahdollistaa korjausmateriaalien ja rakenneratkaisuiden optimoinnin niin, että äänitasoerovaatimus saadaan täytettyä ilman ylimääräisiä lisäkustannuksia. Tutkimuksen tuloksien perusteella vähimmäis edellytyksenä voidaan pitää äänitasoerovaatimuksen täyttymisen

laskennallinen tarkastelu alueilla, joissa rakennuksen julkisivuille on kaavoituksessa asetettu äänitasoerovaatimus.

10.2 Lisätutkimustarve

Tutkimuksen tuloksien perusteella on mahdollista muodostaa kuva raskaan julkisivukorjauksen vaikutuksista betonielementtirakenteisen asuinkerrostalon ilmaääneneristykseen. Muuttujien suuresta määrästä johtuen tarkempi ja yksityiskohtaisempi analyysi edellyttäisi lähtötietojen tiukempaa rajausta. Mahdollisia lisätutkimusky-symyksiä ovat muun muassa tätä tutkimusta laajemmat mittaukset, liitoseristävy-yden muutoksen tarkastelu mittaamalla sekä julkisivukorjauksen vaikutukset aske-läänieristykseen. Mahdolliset lisätutkimukset on suositeltavaa suorittaa esimerkiksi yhdessä korjauskohteessa, jossa on mahdollista suorittaa laaja otanta mittauksia. Yhteen kohteeseen kohdennettujen lisätutkimuksien eduksi voidaan lisäksi katsoa mahdollisuus selvittää olemassa olevat rakenteen tarkemmin. Rajatut ja tarkkaan selvitettyt lähtötiedot helpottavat todennäköisesti tutkimuksen tuloksien tulkintaa huomattavasti.

LÄHTEET

- [1] Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista, 933 / 1992.
- [2] Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. 2003. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- [3] Kylliäinen, M. 2006. Talonrakentamisen akustiikka. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos. Tutkimusraportti 137. 205 s.
- [4] Hytönen, Y. & Seppänen, M. 2009. Tehdään elementeistä. Suomalaisen betonielementtirakentamisen historia. SBK-säätiö. 332 s.
- [5] Kerrostalot 1880-2000. Arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. 2006. Helsinki. Rakennustieto Oy. 288 s.
- [6] Kylliäinen, M. & Keronen, A. 1999. Lisärakentamisen rakennetekniset mahdollisuudet lähiöiden asuinkerrostaloissa. Julkaisu 97. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka. s. 16 - 18
- [7] Kylliäinen, M. & Hongisto, V. Rakennusten akustinen suunnittelu: akustiikan perusteet. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry, RIL 243-1-2007. 220 s.
- [8] Lehtonen, J. 1997. Betonielementtikerrostalojen julkisivurakenteet. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Talonrakennustekniikka. 106 s.
- [9] Parjo, M. 1965. Uusien ja erikoisesti elementtirakenteisten asuinrakennusten ääneneristys. Helsinki. Valtion teknillinen tutkimuslaitos, Rakennusteknillinen laboratorio. 96 s.
- [10] Ahvenainen, J. & Pihkala, E. & Rasila, V. 1982. Suomen taloushistoria 2. Teollistuva Suomi. Helsinki. Tammi. s. 432 - 439
- [11] Vattula, K. 1983. Suomen taloushistoria 2. Historiallinen tilasto. Helsinki. Tammi. s. 382 - 392
- [12] Vainio, T. & Lehtinen, E. & Nuuttila, H. 2005. Julkisivujen uudis- ja korjausrakentaminen. Tampere. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. 26 s. + liitteet
- [13] Rauhala, J. & Kylliäinen, M. 2009. Eristerapatun betoniseinän ilmaääneneristävyyys. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 142. 119 s.

- [14] Huopainen, J. 2007. Rakennusaikaiset määräykset. Tampere, A-Insinöörit Oy. Julkaisematon.
- [15] Kylliäinen, M. & Mikkilä, A. 2009. Rakennusosien ilmaääneneristävyyksien mallintaminen rakentamisessa ja tuotekehityksessä. Tampere, Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy. Rakennusfysiikka 2009.
- [16] Lahdensivu, J. 2010. Tekniikan lisensiaatti, Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. Keskustelu 30.4.2010
- [17] Hietanen, J. 2010. Diplomi-insinööri, A-Insinöörit Oy. Tampere. Keskustelu 7.4.2010
- [18] Rauhala, J. 2007. RTEK-3830 Talonrakennustekniikan erikoistyö II. Asuinrakennusten ääneneristysmääräysten ja -ohjearvojen kehittyminen. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos. Julkaisematon.
- [19] Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.
- [20] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1: Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksissa. Määräykset ja ohjeet. 1998. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- [21] Kylliäinen, M. 2009. Kansainväliset yhteydet vuoden 1967 ääneneristysnormien muotoutumisessa: "Suorastaan ratkaiseva merkitys oman normityömme kannalta". Tekniikan Waiheita 3/09, s. 29 - 46
- [22] Lahdensivu, J. & Varjonen, S. & Köliö, A. 2010. BeKo - Betonijulkisivujen korjausstrategiat. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 148. 77 s.
- [23] SFS-EN ISO 717-1. 1997. Akustiikka. Rakennusten ja rakennusosien ääneneristävyyden luokitus. Osa 1: Ilmaääneneristävyys. Helsinki. Suomen Standardisointiliitto SFS.
- [24] Lättilä, H. 2009. Kaupunkien omistamien rakennusten korjausvelka kasvoi 3,2 prosenttia vuodessa. Rakennuslehti 03.07.2009. Saatavissa: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/kiinteistot/18445.html>
- [25] Julkisivuyhdistys. 1997. Julkisivujen korjausopas. Helsinki, Julkisivuyhdistys r.y. 112 s.
- [26] Suomen Betoniyhdistys. 1996. Betonirakenteiden korjausohjeet, by 41. Helsinki, Suomen Betoniyhdistys r.y. 92 s.

- [27] Suomen Betoniyhdistys. 2002. Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002, by 42. Helsinki, Suomen Betoniyhdistys r.y. 174 s.
- [28] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C3: Rakennusten lämmöneristys. Määräykset. 2010. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- [29] Kylliäinen, M. 2010. Tekniikan lisensiaatti, Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy. Keskustelu, 8.9.2010.
- [30] Finnish Institute Of Occupational Health. 2008. Dynamic Stiffness and Airflow Resistivity of Glass Wool. Test report / TY02-2008-55304e.
- [31] Finnish Institute Of Occupational Health. 2009. Dynamic Stiffness and Airflow Resistivity of Glass Wool. Test report / TY11-2009-117507e.
- [32] SFS-EN 12354-2. 2000. Rakennusakustiikka. Rakennusten akustisten ominaisuuksien arviointi rakennustuotteiden ominaisuuksien perusteella. Osa 2: Huoneiden välinen askelääneneristys. Helsinki. Suomen Standardisointiliitto SFS.
- [33] Suomen Betoniteollisuuden Keskusjärjestö ry. 1969. BES. Tutkimus avoimen elementtijärjestelmän kehittämiseksi. Helsinki, Suomen betoniteollisuuden keskusjärjestö ry. 89 s.
- [34] Ote: BES-järjestelmän rakenteita koskeva suositus. Helsinki, Paraisten kalkki Oy. 27 s.
- [35] Suomen Betoniteollisuuden Keskusjärjestö ry. 1972. BES-suositus 1972. Helsinki, Suomen betoniteollisuuden keskusjärjestö ry.
- [36] Ympäristöopas 108. 2003. Rakennuksen julkisivujen ääneneristävyysmitoitaminen. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- [37] RT 084.20. 1975. Ikkuna, ääneneristävyys.
- [38] Fenestra Oy. Fenestra ikkunoiden ääneneristävyysominaisuudet. Saatavissa: http://www.fenestra.fi/portal/suomi/palvelut/palvelut_suunnittelijalle/ikkunoiden_db-arvot/. Viitattu 24.3.2011.
- [39] Littow, P. 2006. Kaavoitus ennen maankäyttö- ja rakennuslakia. Maankäyttö 4/2006.
- [40] Meluntorjuntalaki. 3.4.1987 / 382
- [41] Meluntorjunta-asetus 12.2.1988 / 169

- [42] Kylliäinen, M. Rakennuksen ulkovaipan ääneneristysten suunnittelu. Helsinki, Rakennustieto Oy, Rakentajain kalenteri 2009. s. 382 - 393
- [43] Opas 12. 2003. Asemakaavamerkinnot ja -määräykset. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- [44] Kylliäinen, M. 2005. Rakennuksen ulkokuoren rakennusosilta vaadittava ääneneristävyys. Akustiikkapäivät 2005. Kuopio, 26.-27.9., Akustinen Seura ry. s. 78-83.
- [45] SFS-EN 12354-2. 2000. Rakennusakustiikka. Rakennusten akustisten ominaisuuksien arviointi rakennustuotteiden ominaisuuksien perusteella. Osa 1: Huoneiden välinen ilmaääneneristys. Helsinki. Suomen Standardisointiliitto SFS.
- [46] SFS-EN ISO 140-4. 1998. Akustiikka. Rakennusten ja rakennusosien äänieristävyyden mittaaminen. Osa 4: Huoneiden välisen ilmaääneneristävyyden kenttämittaukset. Helsinki. Suomen Standardisointiliitto SFS.
- [47] Jokio, T. 2010. Ins. AMK, Koratek Oy. Valkeakoski. Sähköpostiviesti 23.4.2010
- [48] Vahanen yhtiöt. 2006. As Oy Riiehenhirs, Julkisivujen korjaustyön suunnittelu. Hankesuunnitelma. 13.10.2006. Hämeenlinna. AT yhtiö Oy.
- [49] A-Insinöörit. 2008. As Oy Pirkkalanho, Julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimus. 10.10.2008. Tampere. A-Insinöörit Oy.
- [50] Arkkitehtitoimisto Alpo Halme. 1979. Asukas-BES. Kerrostalojen ääneneristys. Helsinki. Suomen betoniteollisuuden keskusjärjestö.
- [51] Suomen Betoniyhdistys. 2004. Betonitekniikan oppikirja 2004, by 201. Helsinki, Suomen Betoniyhdistys r.y.
- [52] Lahdensivu, J. 2011. Tekniikan lisensiaatti, Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. Sähköpostiviesti 21.6.2011

LIITEET

- Liite 1. Laskennassa käytetyt BeKo-tietokannan aineistot. 11 s.
- Liite 2. Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit, materiaalitiedot. 3 s.
- Liite 3. Ilmaääneneristävyyden laskenta, olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit. 18 s.
- Liite 4. Ilmaääneneristysluvun muutos, kun elementin ulkokuori puretaan. 4 s.
- Liite 5. Uusien rakenteiden rakennetyypit. 11 s.
- Liite 6. Uusien rakenteiden ilmaääneneristyskyky. 3 s.
- Liite 7. Esimerkkikohteen ulkovaipan äänitasoerolaskelmat. 27 s.
- Liite 8. Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun laskennassa käytetyt laskentatapaukset. 3 s.
- Liite 9. Ilmaääneneristysluvun R'_w mittaukset. 8 s.

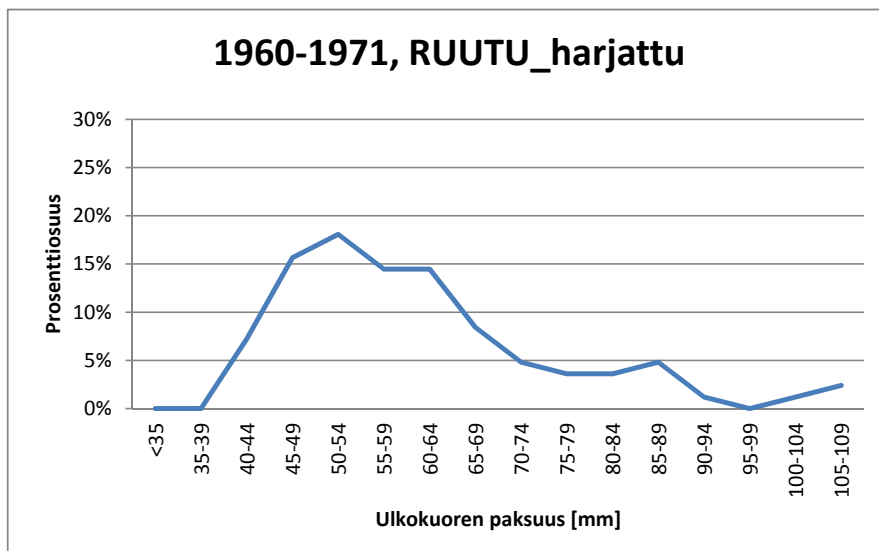
Laskennassa käytetyt BeKo-tietokannan aineistot

Ulkokuoret

Ruutu, harjattu

n= 83 kpl
 ka. 61,0 mm
 S 15,2 mm
 moodi 52 mm

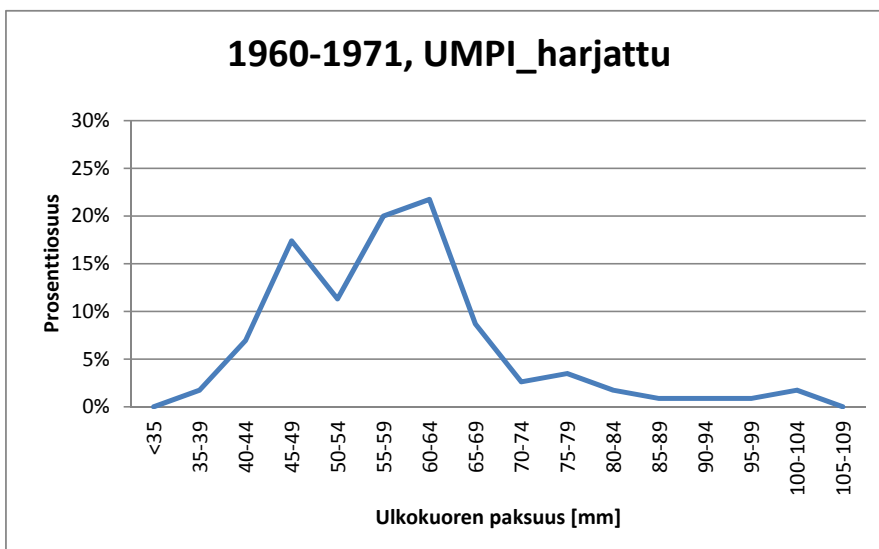
 ka - m 9,0 mm
 ka. + S 76,2 mm
 ka. - S 45,8 mm
 alue 30,4 mm
 osuus 73,5 %



Umpi, harjattu

n= 115 kpl
 ka. 58,3 mm
 S 12,2 mm
 moodi 60 mm

 ka - m -1,7 mm
 ka. + S 70,6 mm
 ka. - S 46,1 mm
 alue 24,5 mm
 osuus 75,7 %



n= otoksen laajuus
 alue = ka. \pm S

ka. = otoksen keskiarvo
 osuus = ka. \pm S -alueella olevien havaintojen osuus aineistosta

S = otoksen keskihajonta 2/11

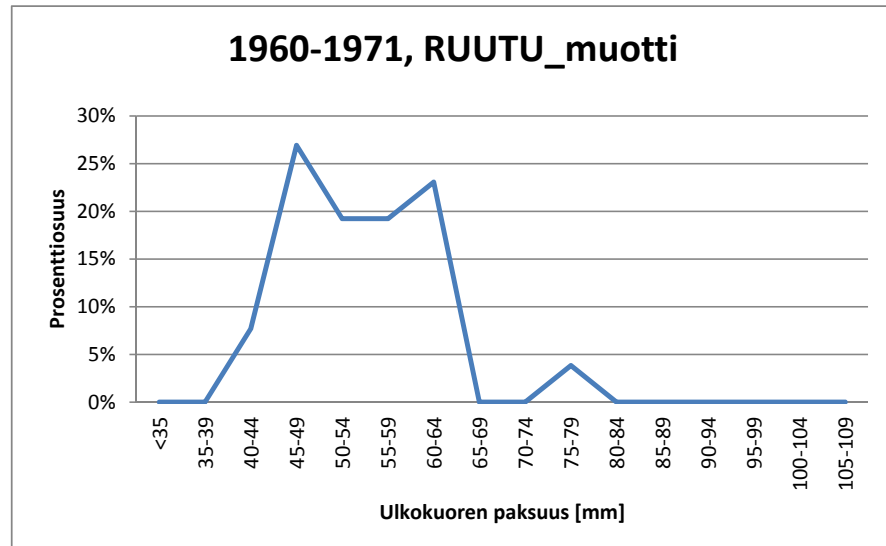
Laskennassa käytetyt BeKo-tietokannan aineistot

Ulkokuoret

Ruutu, muotti

n= 26 kpl
 ka. 54,1 mm
 S 7,4 mm
 moodi 54 mm

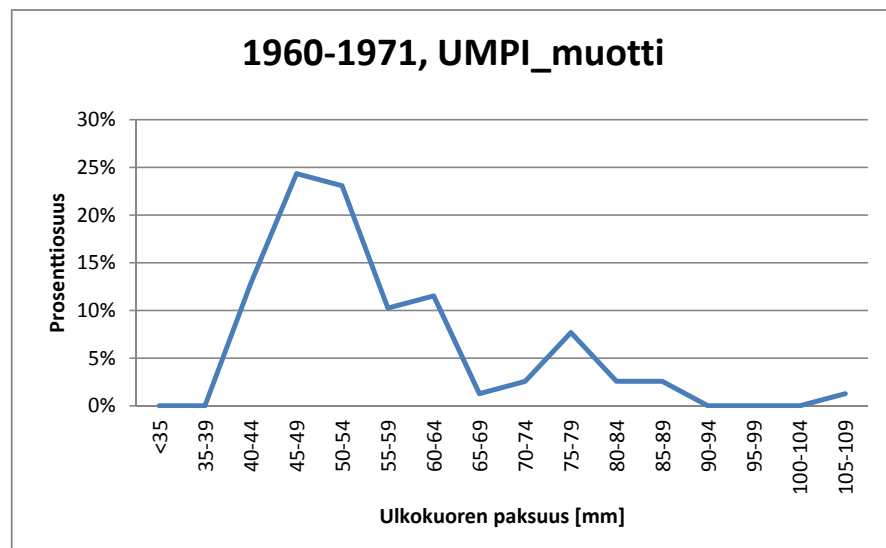
 ka - m 0,1 mm
 ka. + S 61,5 mm
 ka. - S 46,7 mm
 alue 14,8 mm
 osuus 69,2 %



Umpi, muotti

n= 80 kpl
 ka. 57,9 mm
 S 16,6 mm
 moodi 47 mm

 ka - m 10,9 mm
 ka. + S 74,5 mm
 ka. - S 41,3 mm
 alue 33,2 mm
 osuus 80,0 %



n= otoksen laajuus
 alue = ka. \pm S

ka. = otoksen keskiarvo
 osuus = ka. \pm S -alueella olevien havaintojen osuus aineistosta

S = otoksen keskihajonta

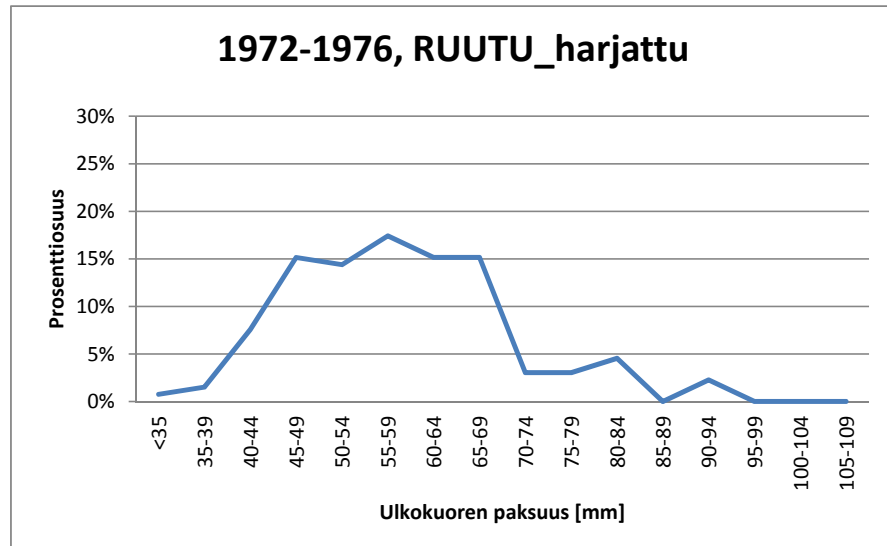
Laskennassa käytetyt BeKo-tietokannan aineistot

Ulkokuoret

Ruutu, harjattu

n= 132 kpl
 ka. 58,2 mm
 S 11,8 mm
 moodi 65 mm

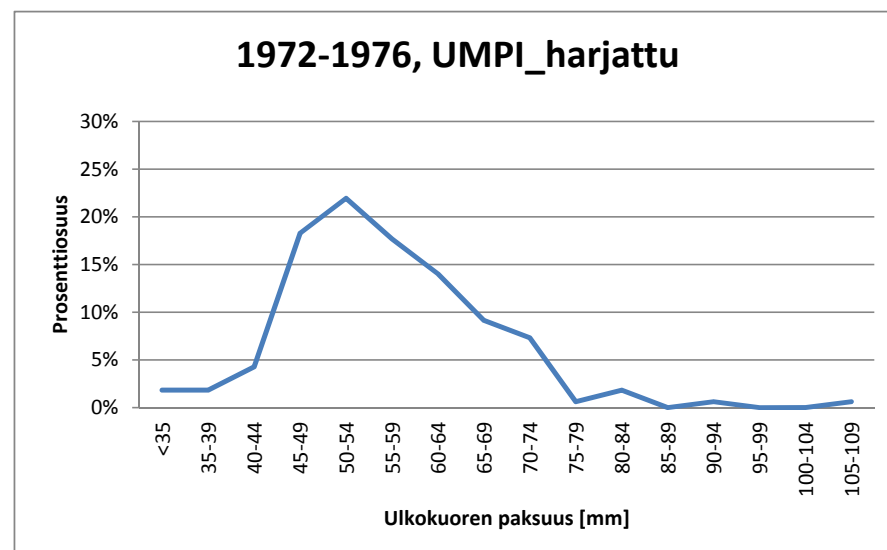
 ka - m -6,8 mm
 ka. + S 70,0 mm
 ka. - S 46,4 mm
 alue 23,6 mm
 osuus 72,0 %



Umpi, harjattu

n= 164 kpl
 ka. 56,2 mm
 S 10,8 mm
 moodi 50 mm

 ka - m 6,2 mm
 ka. + S 67,0 mm
 ka. - S 45,3 mm
 alue 21,6 mm
 osuus 73,2 %



n= otoksen laajuus
 alue = ka. \pm S

ka. = otoksen keskiarvo
 osuus = ka. \pm S -alueella olevien havaintojen osuus aineistosta

S = otoksen keskihajonta

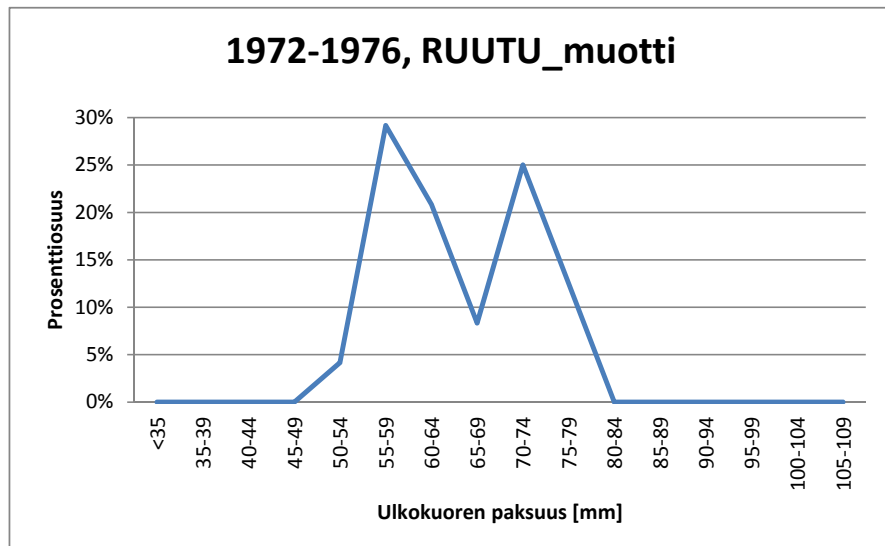
Laskennassa käytetyt BeKo-tietokannan aineistot

Ulkokuoret

Ruutu, muotti

n= 24 kpl
 ka. 65,3 mm
 S 8,1 mm
 moodi 73 mm

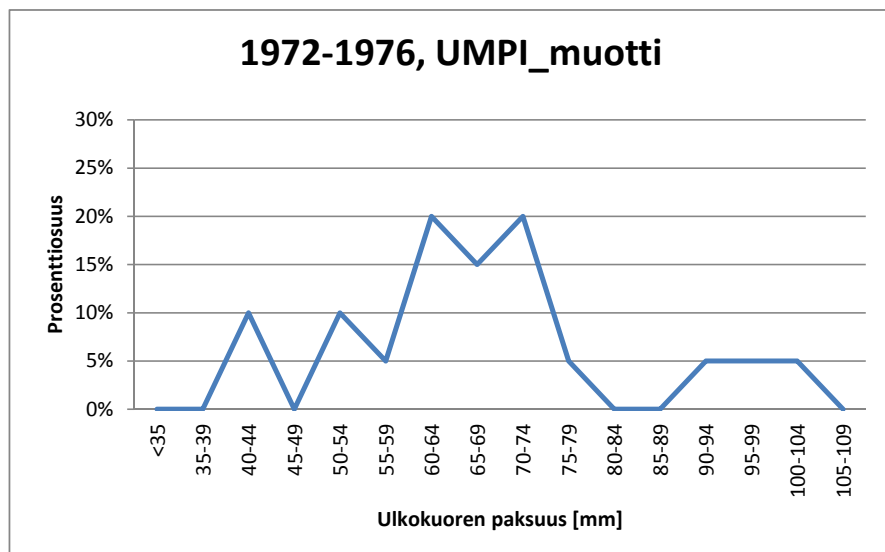
 ka - m -7,8 mm
 ka. + S 73,3 mm
 ka. - S 57,2 mm
 alue 16,2 mm
 osuus 58,3 %



Umpi, muotti

n= 24 kpl
 ka. 74,9 mm
 S 22,7 mm
 moodi 60 mm

 ka - m 14,9 mm
 ka. + S 97,7 mm
 ka. - S 52,2 mm
 alue 45,5 mm
 osuus 66,7 %



n= otoksen laajuus
 alue = ka. \pm S

ka. = otoksen keskiarvo
 osuus = ka. \pm S -alueella olevien havaintojen osuus aineistosta

S = otoksen keskihajonta

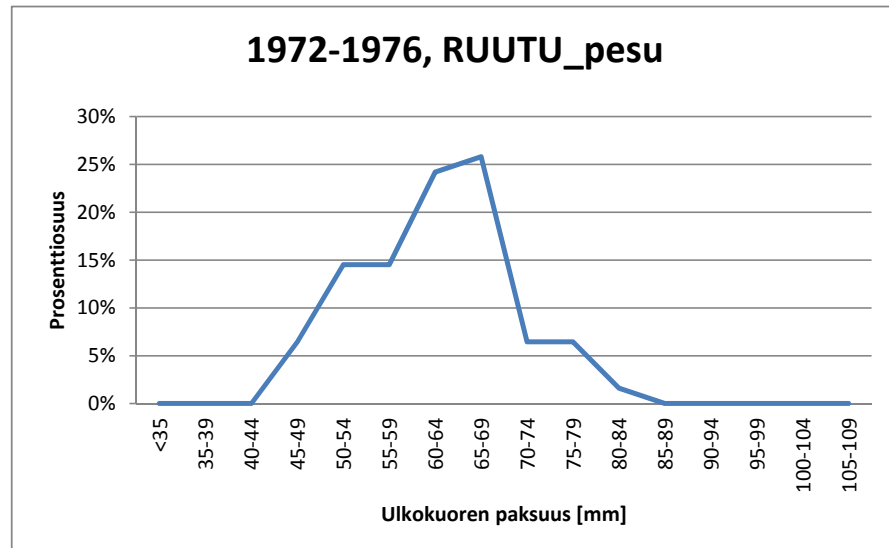
Laskennassa käytetyt BeKo-tietokannan aineistot

Ulkokuoret

Ruutu, pesu

n= 62 kpl
 ka. 61,9 mm
 S 8,5 mm
 moodi 60 mm

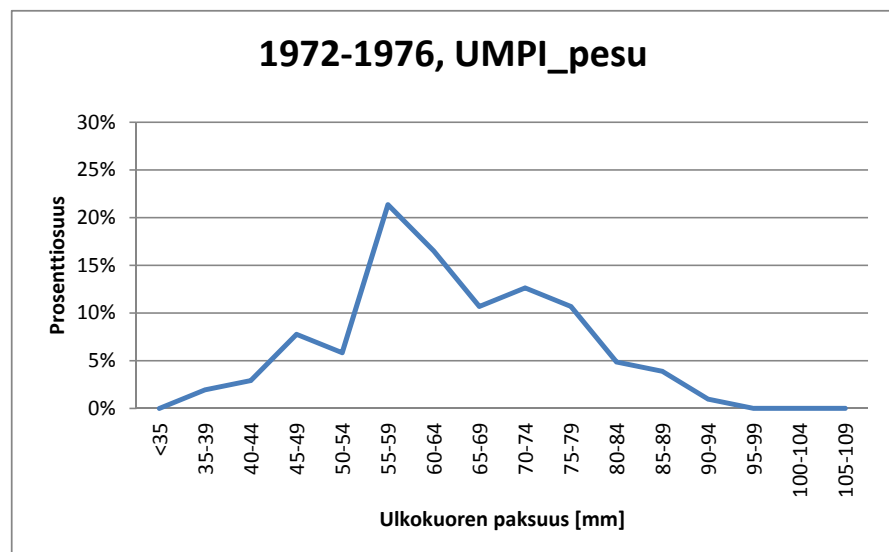
 ka - m 1,9 mm
 ka. + S 70,4 mm
 ka. - S 53,3 mm
 alue 17,1 mm
 osuus 69,4 %



Umpi, pesu

n= 103 kpl
 ka. 63,9 mm
 S 11,7 mm
 moodi 60 mm

 ka - m 3,9 mm
 ka. + S 75,6 mm
 ka. - S 52,2 mm
 alue 23,3 mm
 osuus 65,0 %



n= otoksen laajuus
 alue = ka. \pm S

ka. = otoksen keskiarvo
 osuus = ka. \pm S -alueella olevien havaintojen osuus aineistosta

S = otoksen keskihajonta

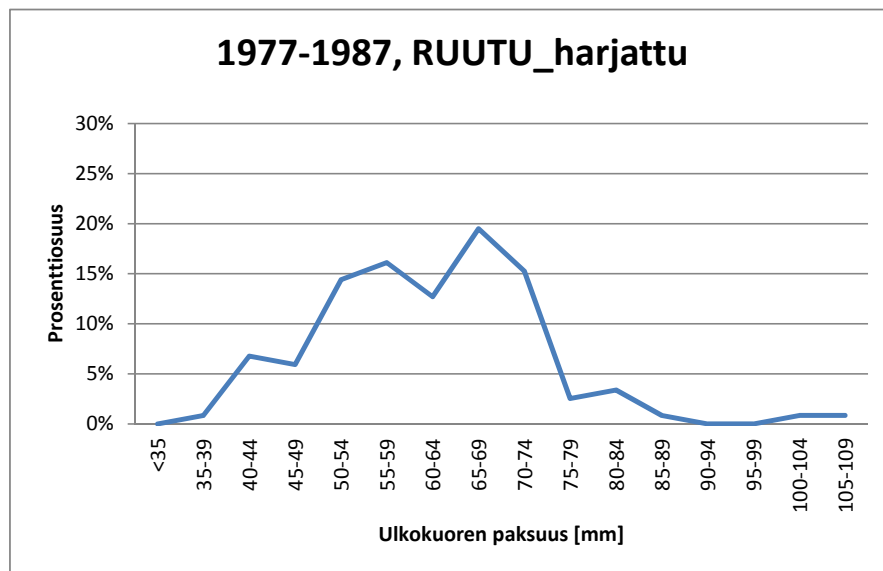
Laskennassa käytetyt BeKo-tietokannan aineistot

Ulkokuoret

Ruutu, harjattu

n= 118 kpl
 ka. 61,5 mm
 S 11,8 mm
 moodi 70 mm

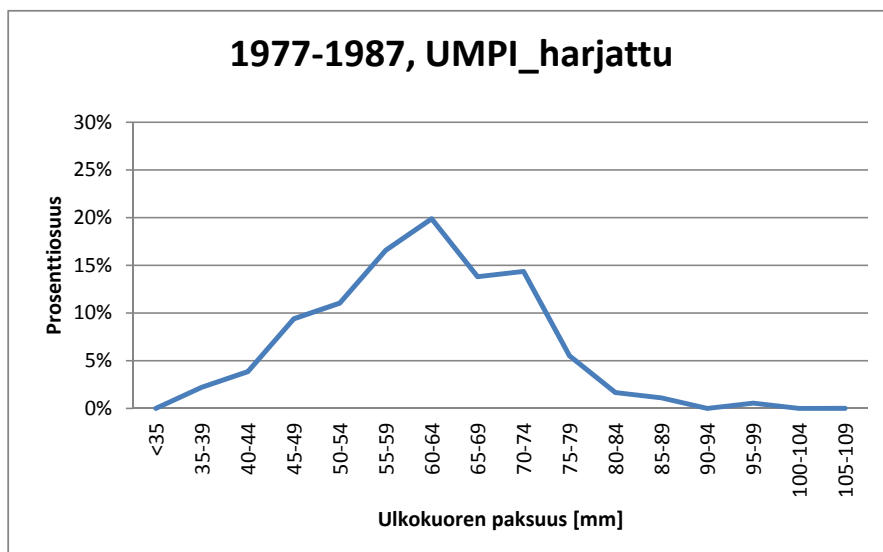
 ka - m -8,5 mm
 ka. + S 73,3 mm
 ka. - S 49,7 mm
 alue 23,5 mm
 osuus 76,3 %



Umpi, harjattu

n= 182 kpl
 ka. 61,2 mm
 S 11,3 mm
 moodi 60 mm

 ka - m 1,2 mm
 ka. + S 72,5 mm
 ka. - S 49,9 mm
 alue 22,6 mm
 osuus 71,4 %



n= otoksen laajuus
 alue = ka. \pm S

ka. = otoksen keskiarvo
 osuus = ka. \pm S -alueella olevien havaintojen osuus aineistosta

S = otoksen keskihajonta

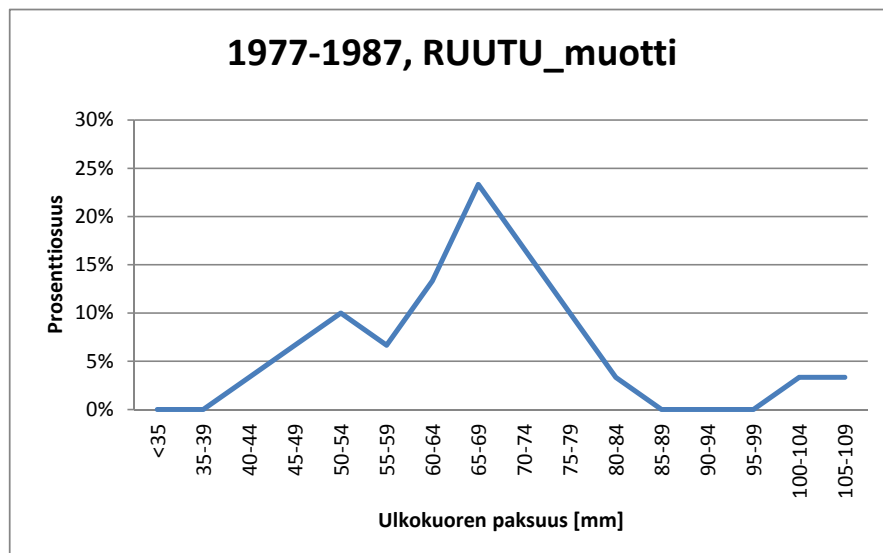
Laskennassa käytetyt BeKo-tietokannan aineistot

Ulkokuoret

Ruutu, muotti

n= 30 kpl
 ka. 65,4 mm
 S 14,0 mm
 moodi 65 mm

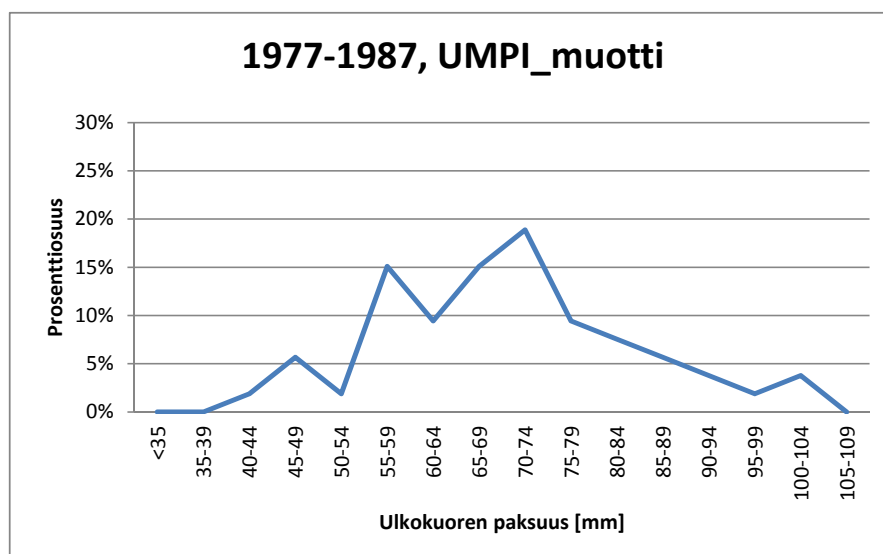
 ka - m 0,4 mm
 ka. + S 79,4 mm
 ka. - S 51,5 mm
 alue 27,9 mm
 osuus 76,7 %



Umpi, muotti

n= 53 kpl
 ka. 69,8 mm
 S 14,0 mm
 moodi 55 mm

 ka - m 14,8 mm
 ka. + S 83,8 mm
 ka. - S 55,8 mm
 alue 28,0 mm
 osuus 66,0 %



n= otoksen laajuus
 alue = ka. \pm S

ka. = otoksen keskiarvo
 osuus = ka. \pm S -alueella olevien havaintojen osuus aineistosta

S = otoksen keskihajonta

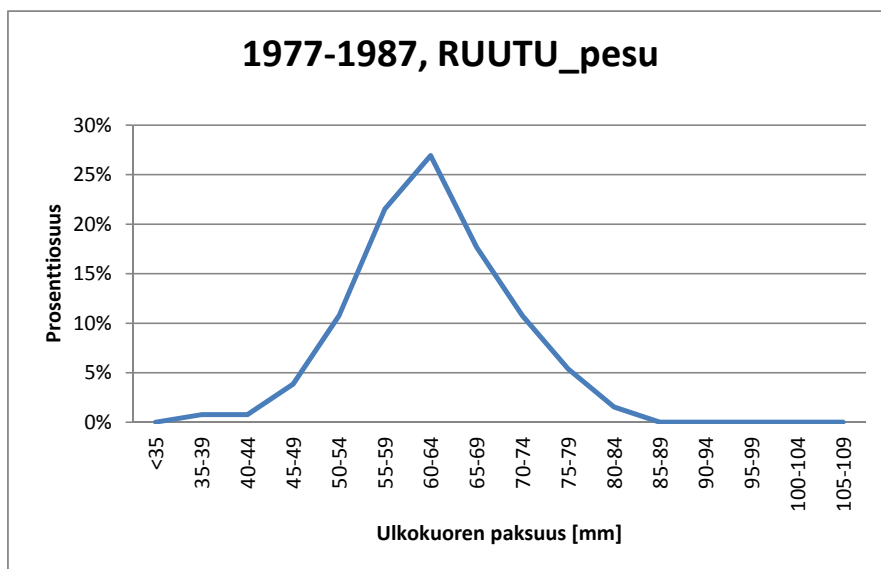
Laskennassa käytetyt BeKo-tietokannan aineistot

Ulkokuoret

Ruutu, pesu

n= 130 kpl
 ka. 61,8 mm
 S 8,1 mm
 moodi 60 mm

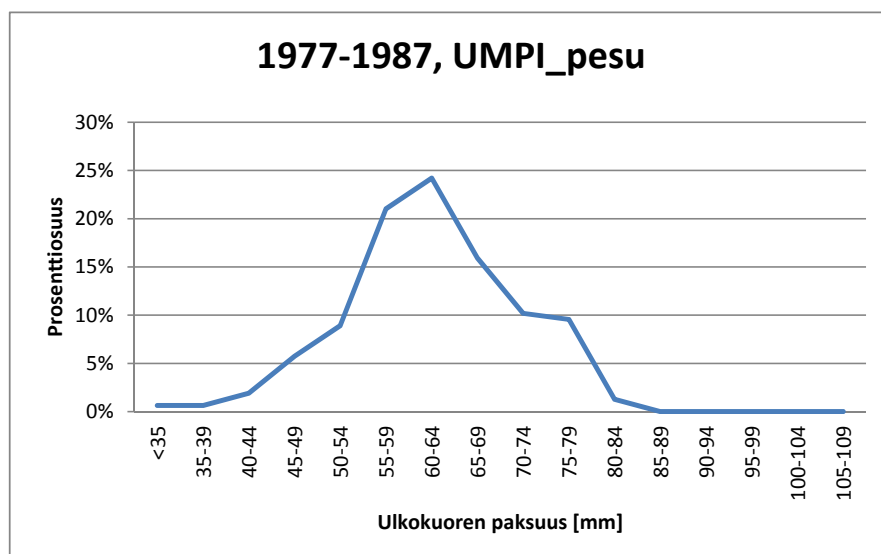
ka - m 1,8 mm
 ka. + S 69,8 mm
 ka. - S 53,7 mm
 alue 16,1 mm
 osuus 69,2 %



Umpi, pesu

n= 157 kpl
 ka. 61,9 mm
 S 9,2 mm
 moodi 60 mm

ka - m 1,9 mm
 ka. + S 71,1 mm
 ka. - S 52,7 mm
 alue 18,4 mm
 osuus 70,1 %



n= otoksen laajuus
 alue = ka. \pm S

ka. = otoksen keskiarvo
 osuus = ka. \pm S -alueella olevien havaintojen osuus aineistosta

S = otoksen keskihajonta

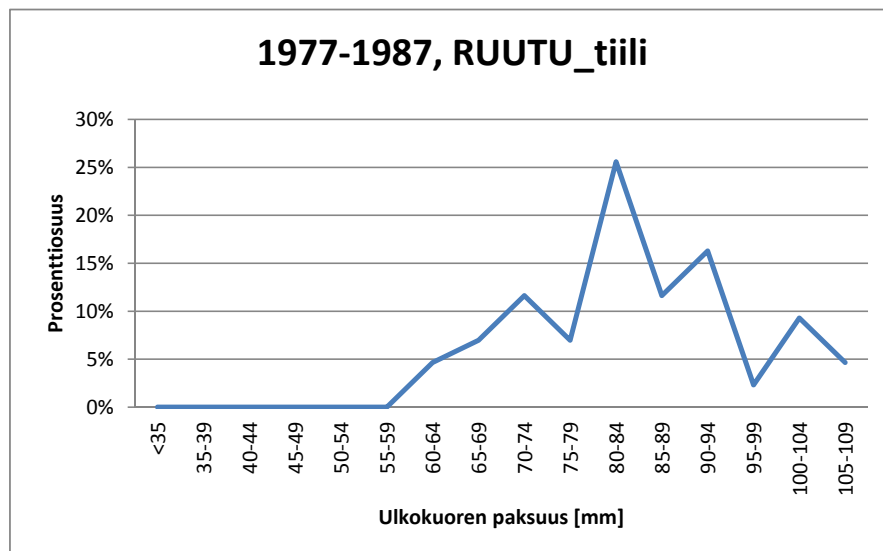
Laskennassa käytetyt BeKo-tietokannan aineistot

Ulkokuoret

Ruutu, tiili

n= 43 kpl
 ka. 83,3 mm
 S 12,0 mm
 moodi 80 mm

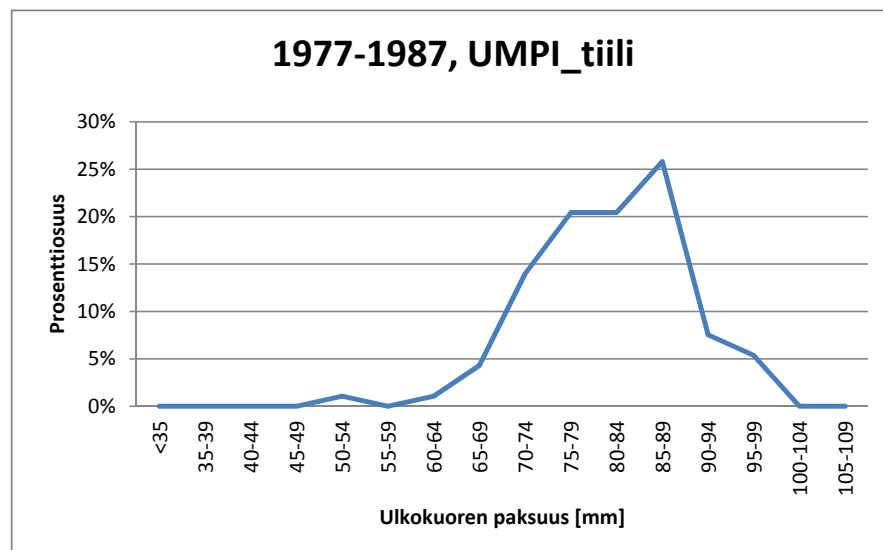
 ka - m 3,3 mm
 ka. + S 95,4 mm
 ka. - S 71,3 mm
 alue 24,0 mm
 osuus 67,4 %



Umpi, tiili

n= 96 kpl
 ka. 82,1 mm
 S 10,1 mm
 moodi 85 mm

 ka - m -2,9 mm
 ka. + S 92,2 mm
 ka. - S 72,1 mm
 alue 20,2 mm
 osuus 74,0 %



n= otoksen laajuus
 alue = ka. ± S

ka. = otoksen keskiarvo
 osuus = ka. ± S -alueella olevien havaintojen osuus aineistosta

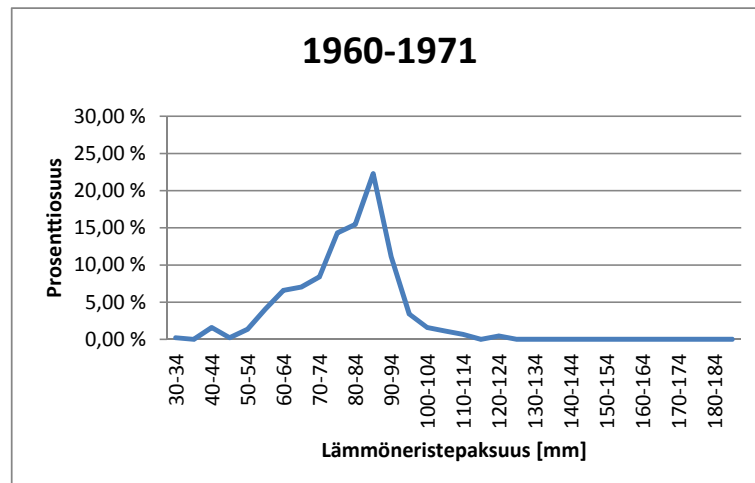
S = otoksen keskihajonta

Laskennassa käytetyt BeKo-tietokannan aineistot

Lämmöneristeet

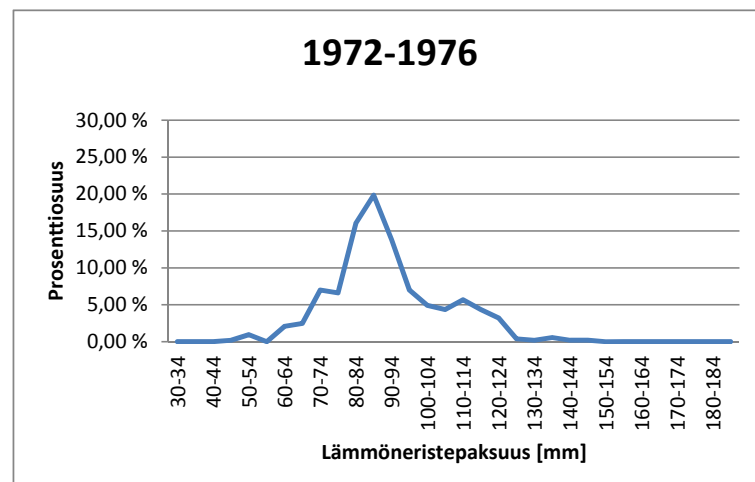
ka. **79,2** mm
 S **13,0** mm
 moodi **85** mm

ka. + S **92,3** mm
 ka. - S **66,2** mm



ka. **90,1** mm
 S **15,4** mm
 moodi **85** mm

ka. + S **105,6** mm
 ka. - S **74,7** mm



ka. = otoksen keskiarvo

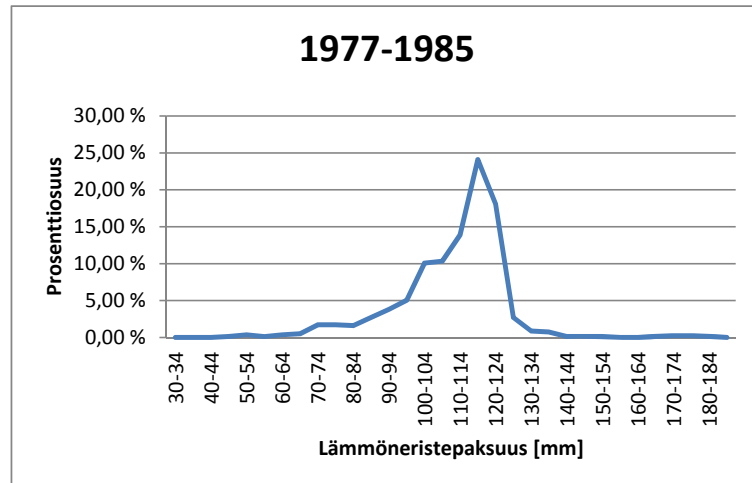
S = otoksen keskihajonta

Laskennassa käytetyt BeKo-tietokannan aineistot

Lämmöneristeet

ka. **109,3** mm
S **15,1** mm
moodi **120** mm

ka. + S **124,3** mm
ka. - S **94,2** mm



ka. = otoksen keskiarvo

S = otoksen keskihajonta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit

1960-1971

Ruutu, harjattu

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K20	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	52 mm	85 mm	53 mm	267 kg/m ²
Laskentamalli 2.	76 mm	66 mm	48 mm	313 kg/m ²
Laskentamalli 3.	46 mm	92 mm	52 mm	249 kg/m ²

Umpi, harjattu

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K20	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	60 mm	85 mm	125 mm	467 kg/m ²
Laskentamalli 2.	71 mm	66 mm	133 mm	513 kg/m ²
Laskentamalli 3.	46 mm	92 mm	132 mm	449 kg/m ²

Ruutu, muotti

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K20	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	54 mm	85 mm	51 mm	267 kg/m ²
Laskentamalli 2.	47 mm	66 mm	77 mm	313 kg/m ²
Laskentamalli 3.	61 mm	92 mm	36 mm	249 kg/m ²

Umpi, muotti

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K20	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	47 mm	85 mm	138 mm	467 kg/m ²
Laskentamalli 2.	41 mm	66 mm	162 mm	513 kg/m ²
Laskentamalli 3.	75 mm	92 mm	103 mm	449 kg/m ²

1972-1976

Ruutu, harjattu

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K20	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	65 mm	85 mm	60 mm	317 kg/m ²
Laskentamalli 2.	70 mm	75 mm	65 mm	342 kg/m ²
Laskentamalli 3.	46 mm	106 mm	58 mm	266 kg/m ²

Umpi, harjattu

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K20	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	50 mm	85 mm	155 mm	517 kg/m ²
Laskentamalli 2.	67 mm	75 mm	148 mm	542 kg/m ²
Laskentamalli 3.	45 mm	106 mm	139 mm	466 kg/m ²

Ruutu, muotti

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K20	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	73 mm	85 mm	52 mm	317 kg/m ²
Laskentamalli 2.	57 mm	75 mm	78 mm	342 kg/m ²
Laskentamalli 3.	73 mm	106 mm	31 mm	266 kg/m ²

Umpi, muotti

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K20	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	60 mm	85 mm	145 mm	517 kg/m ²
Laskentamalli 2.	52 mm	75 mm	163 mm	542 kg/m ²
Laskentamalli 3.	98 mm	106 mm	87 mm	466 kg/m ²

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit

Ruutu, pesu

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K20	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	60 mm	85 mm	65 mm	317 kg/m2
Laskentamalli 2.	53 mm	75 mm	82 mm	342 kg/m2
Laskentamalli 3.	70 mm	106 mm	34 mm	266 kg/m2

Umpi, pesu

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K20	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	60 mm	85 mm	145 mm	517 kg/m2
Laskentamalli 2.	52 mm	75 mm	163 mm	542 kg/m2
Laskentamalli 3.	76 mm	106 mm	109 mm	466 kg/m2

1977-1987

Ruutu, harjattu

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K25	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	70 mm	120 mm	70 mm	356 kg/m2
Laskentamalli 2.	73 mm	94 mm	93 mm	419 kg/m2
Laskentamalli 3.	50 mm	124 mm	86 mm	345 kg/m2

Umpi, harjattu

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K25	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	60 mm	120 mm	160 mm	556 kg/m2
Laskentamalli 2.	73 mm	94 mm	173 mm	619 kg/m2
Laskentamalli 3.	50 mm	124 mm	166 mm	545 kg/m2

Ruutu, muotti

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K25	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	65 mm	120 mm	75 mm	356 kg/m2
Laskentamalli 2.	51 mm	94 mm	114 mm	419 kg/m2
Laskentamalli 3.	79 mm	124 mm	56 mm	345 kg/m2

Umpi, muotti

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K25	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	55 mm	120 mm	165 mm	556 kg/m2
Laskentamalli 2.	56 mm	94 mm	190 mm	619 kg/m2
Laskentamalli 3.	84 mm	124 mm	132 mm	545 kg/m2

Ruutu, pesu

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K25	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	60 mm	120 mm	80 mm	356 kg/m2
Laskentamalli 2.	54 mm	94 mm	112 mm	419 kg/m2
Laskentamalli 3.	70 mm	124 mm	66 mm	345 kg/m2

Umpi, pesu

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K25	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	60 mm	120 mm	160 mm	556 kg/m2
Laskentamalli 2.	53 mm	94 mm	193 mm	619 kg/m2
Laskentamalli 3.	71 mm	124 mm	145 mm	545 kg/m2

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit**Ruutu, tiili**

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K25	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	80 mm	120 mm	60 mm	356 kg/m ²
Laskentamalli 2.	71 mm	94 mm	95 mm	419 kg/m ²
Laskentamalli 3.	95 mm	124 mm	40 mm	345 kg/m ²

Umpi, tiili

	Ulkokuori Betoni K25	Lämmöneriste	Sisäkuori Betoni K25	Elementin kokonaismassa
Laskentamalli 1.	85 mm	120 mm	135 mm	556 kg/m ²
Laskentamalli 2.	72 mm	94 mm	174 mm	619 kg/m ²
Laskentamalli 3.	92 mm	124 mm	123 mm	545 kg/m ²

Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Ruutu, harjattu 1960-1971

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	52	85	53
2.	76	66	48
3.	46	92	52

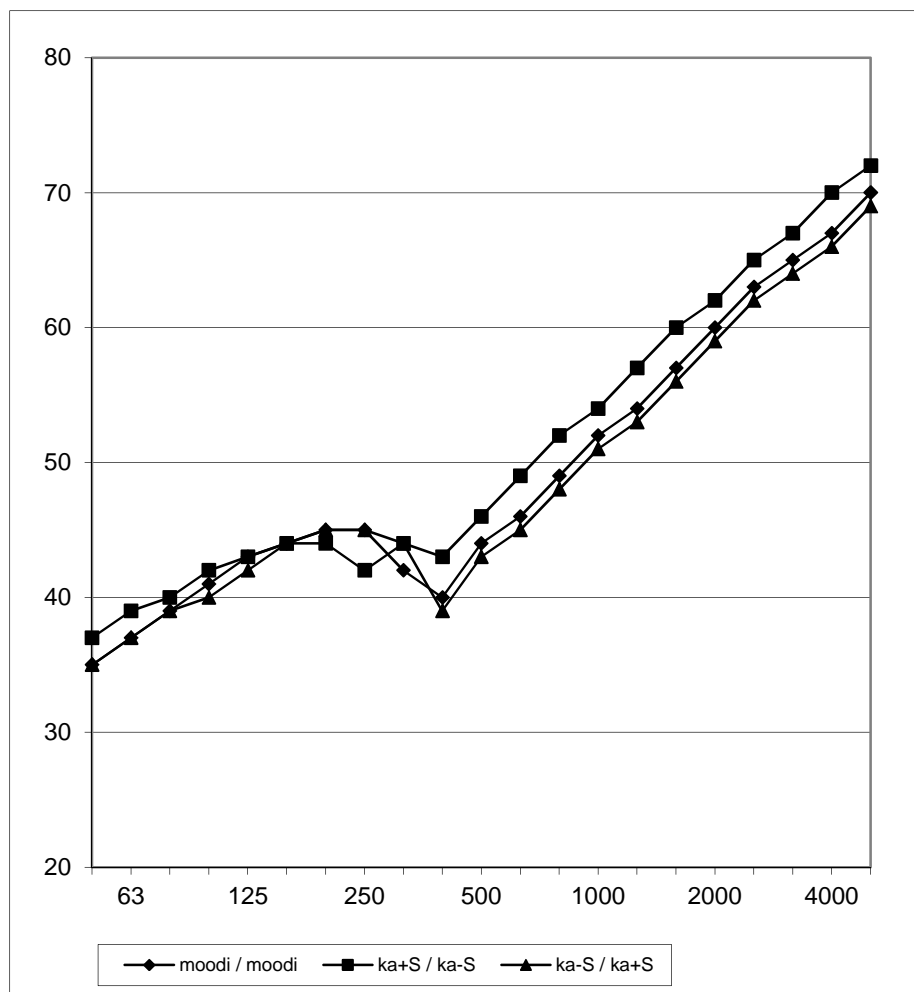
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka+S / ka-S)

Rakenne 3. (ka-S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	35	37	35
63	37	39	37
80	39	40	39
100	41	42	40
125	43	43	42
160	44	44	44
200	45	44	45
250	45	42	45
315	42	44	44
400	40	43	39
500	44	46	43
630	46	49	45
800	49	52	48
1000	52	54	51
1250	54	57	53
1600	57	60	56
2000	60	62	59
2500	63	65	62
3150	65	67	64
4000	67	70	66
5000	70	72	69

R _w	50	52	49
C	-1	-1	0
C _{tr}	-3	-3	-2



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Umpi, harjattu 1960-1971

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	60	85	125
2.	71	66	133
3.	46	92	132

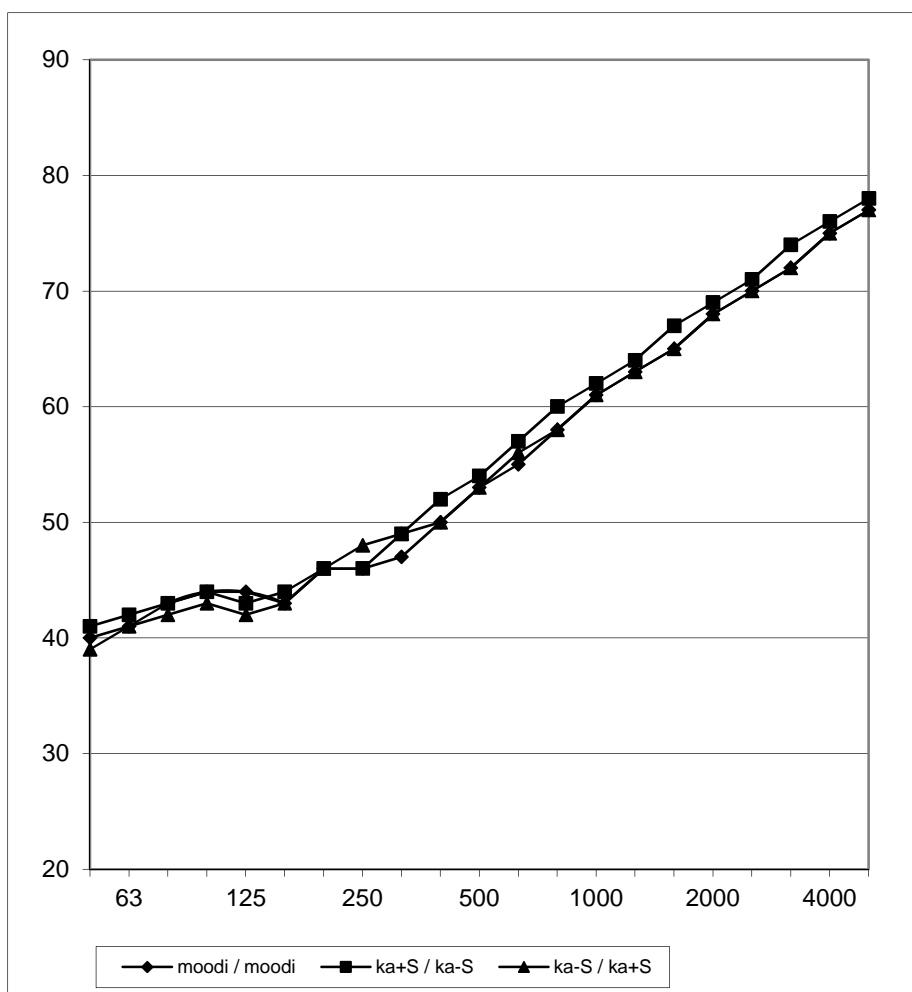
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka+S / ka-S)

Rakenne 3. (ka-S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	40	41	39
63	41	42	41
80	43	43	42
100	44	44	43
125	44	43	42
160	43	44	43
200	46	46	46
250	46	46	48
315	47	49	49
400	50	52	50
500	53	54	53
630	55	57	56
800	58	60	58
1000	61	62	61
1250	63	64	63
1600	65	67	65
2000	68	69	68
2500	70	71	70
3150	72	74	72
4000	75	76	75
5000	77	78	77

R _w	57	58	58
C	-1	-1	-1
C _{tr}	-4	-4	-4



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Ruutu, muotti 1960-1971

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	54	85	51
2.	47	66	77
3.	61	92	36

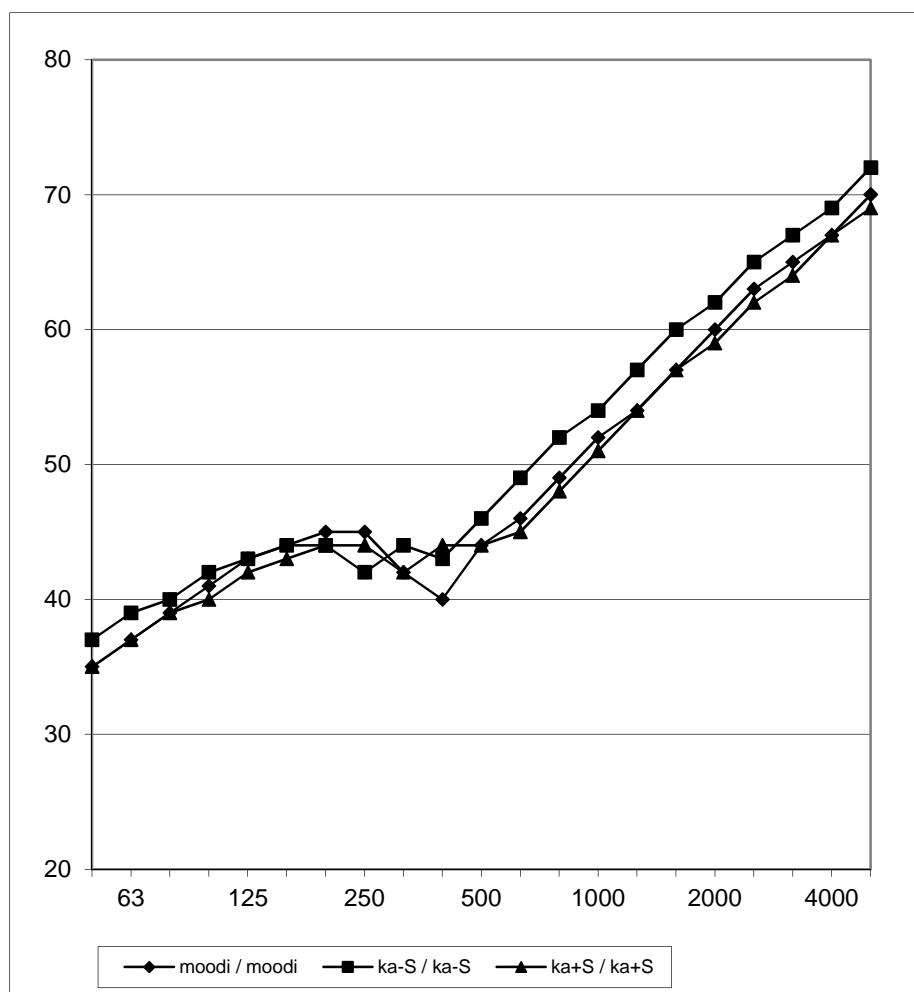
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka-S / ka-S)

Rakenne 3. (ka+S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	35	37	35
63	37	39	37
80	39	40	39
100	41	42	40
125	43	43	42
160	44	44	43
200	45	44	44
250	45	42	44
315	42	44	42
400	40	43	44
500	44	46	44
630	46	49	45
800	49	52	48
1000	52	54	51
1250	54	57	54
1600	57	60	57
2000	60	62	59
2500	63	65	62
3150	65	67	64
4000	67	69	67
5000	70	72	69

R _w	50	52	50
C	-1	-1	0
C _{tr}	-3	-3	-2



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Umpi, muotti 1960-1971

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	47	85	138
2.	41	66	162
3.	75	92	103

Rakenne 1. (moodi / moodi)

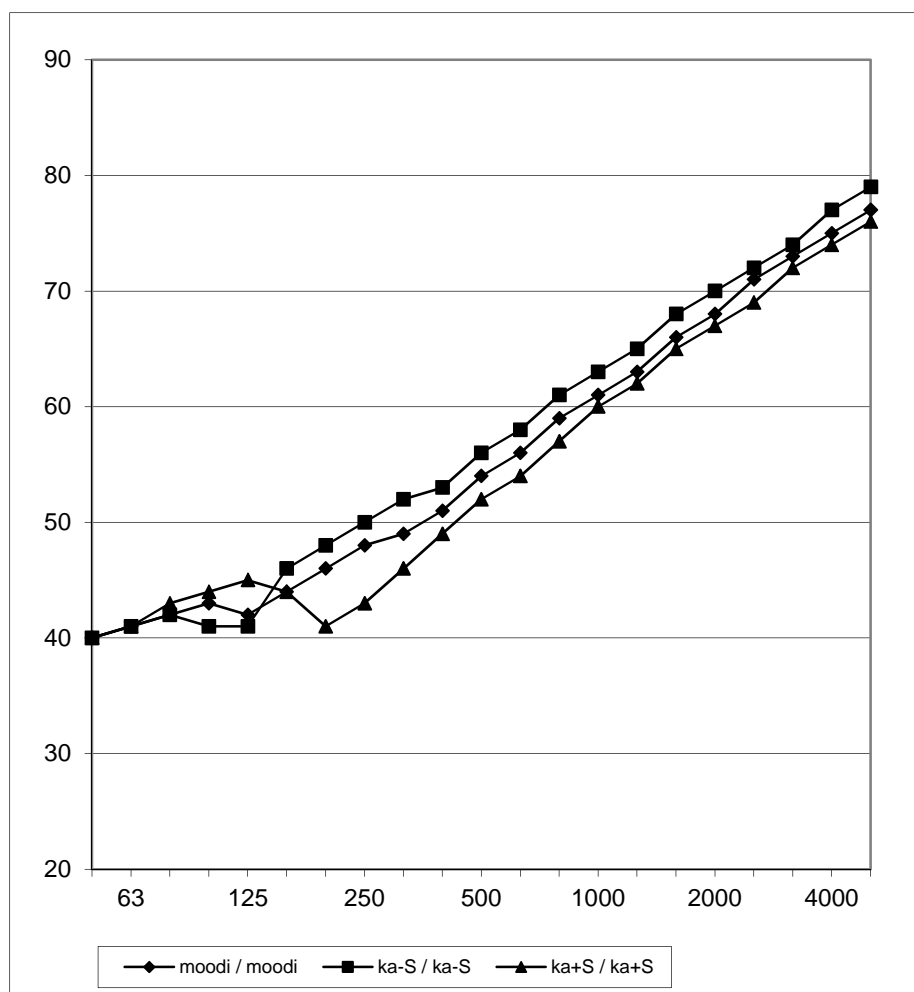
Rakenne 2. (ka-S / ka-S)

Rakenne 3. (ka+S / ka+S)

Rakenne

f [Hz]	1. R _{1/3} [dB]	2. R _{1/3} [dB]	3. R _{1/3} [dB]
50	40	40	40
63	41	41	41
80	42	42	43
100	43	41	44
125	42	41	45
160	44	46	44
200	46	48	41
250	48	50	43
315	49	52	46
400	51	53	49
500	54	56	52
630	56	58	54
800	59	61	57
1000	61	63	60
1250	63	65	62
1600	66	68	65
2000	68	70	67
2500	71	72	69
3150	73	74	72
4000	75	77	74
5000	77	79	76

R _w	58	60	56
C	-1	-1	-1
C _{tr}	-4	-5	-5



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Ruutu, harjattu 1972-1976

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	65	85	60
2.	70	75	65
3.	46	106	58

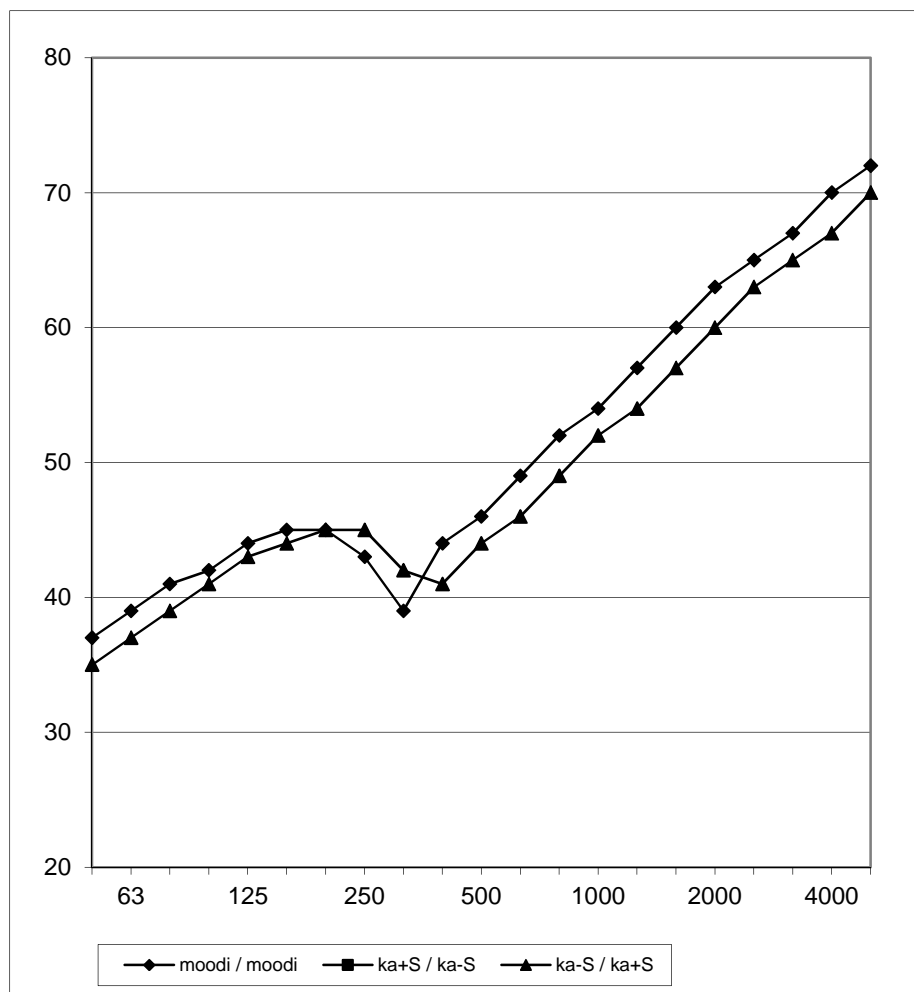
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka+S / ka-S)

Rakenne 3. (ka-S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	37	37	35
63	39	39	37
80	41	41	39
100	42	43	41
125	44	44	43
160	45	45	44
200	45	45	45
250	43	41	45
315	39	41	42
400	44	45	41
500	46	47	44
630	49	50	46
800	52	53	49
1000	54	55	52
1250	57	58	54
1600	60	61	57
2000	63	64	60
2500	65	65	63
3150	67	68	65
4000	70	70	67
5000	72	73	70

R _w	52	52	50
C	-1	0	0
C _{tr}	-4	-3	-2



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Umpi, harjattu 1972-1976

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	50	85	155
2.	67	75	148
3.	45	106	139

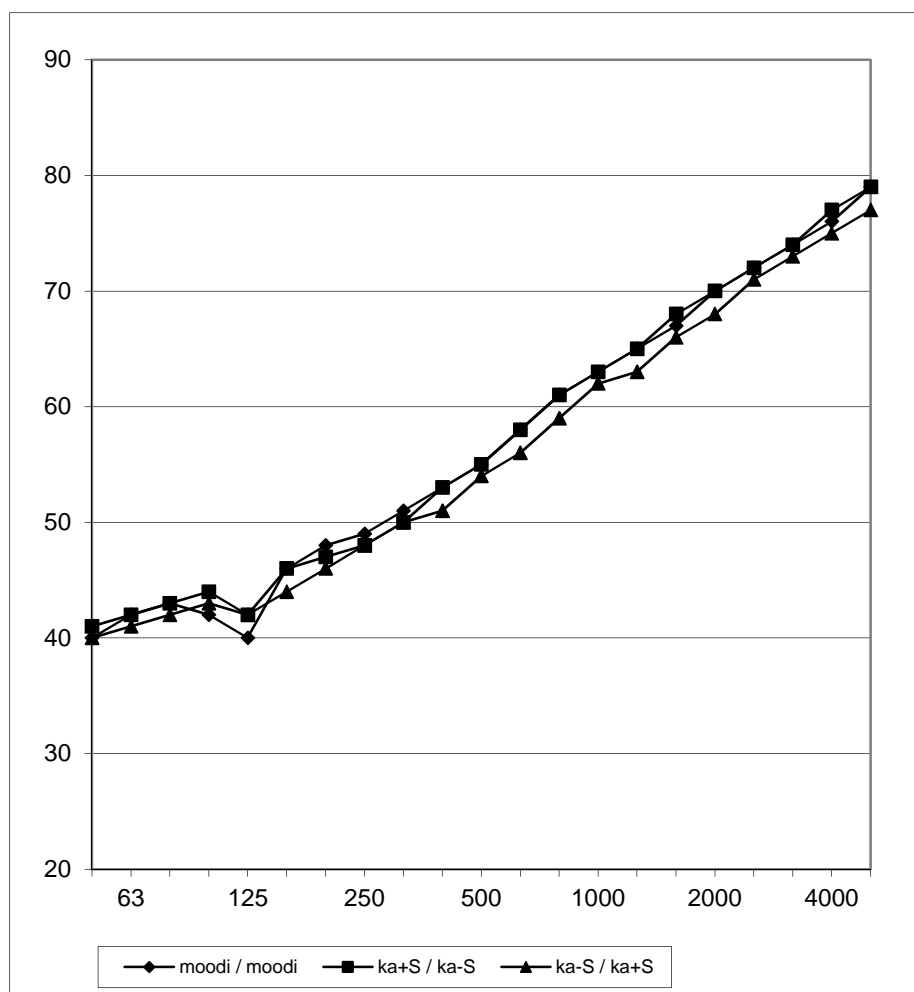
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka+S / ka-S)

Rakenne 3. (ka-S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	40	41	40
63	42	42	41
80	43	43	42
100	42	44	43
125	40	42	42
160	46	46	44
200	48	47	46
250	49	48	48
315	51	50	50
400	53	53	51
500	55	55	54
630	58	58	56
800	61	61	59
1000	63	63	62
1250	65	65	63
1600	67	68	66
2000	70	70	68
2500	72	72	71
3150	74	74	73
4000	76	77	75
5000	79	79	77

R _w	59	59	58
C	-1	-1	-1
C _{tr}	-4	-4	-4



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Ruutu, muotti 1972-1976

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	73	85	52
2.	57	75	78
3.	73	106	31

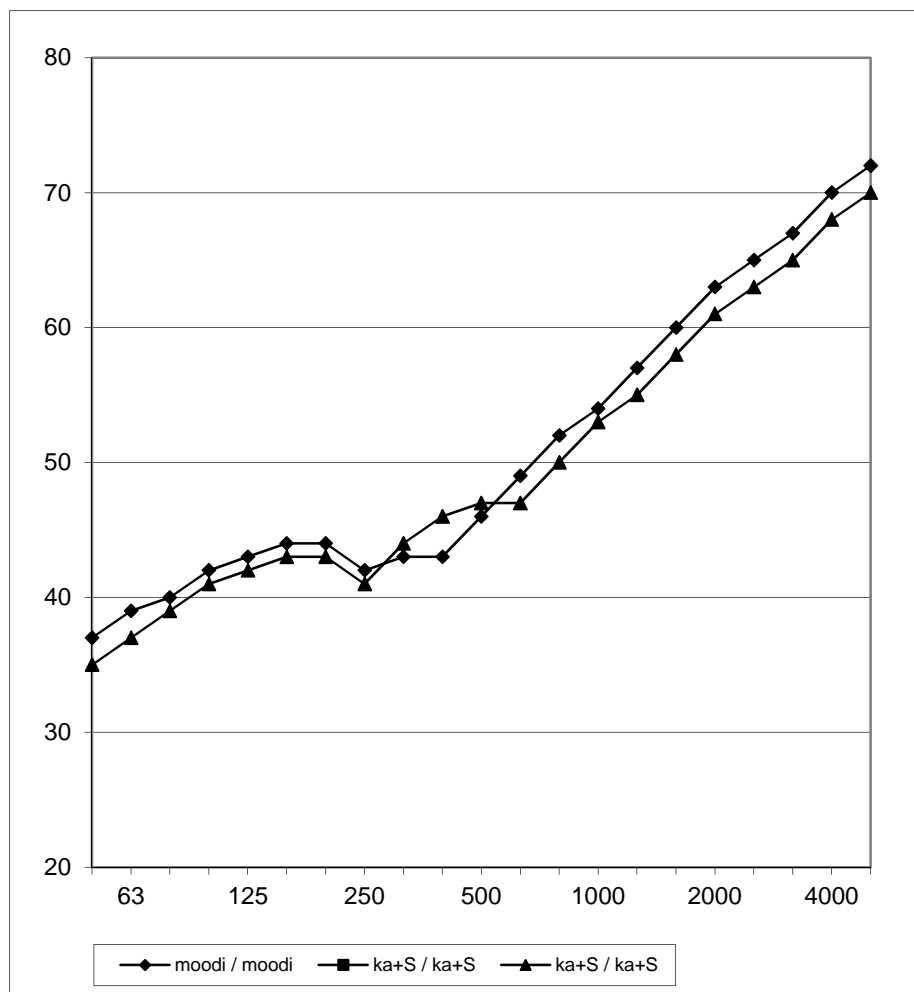
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka-S / ka-S)

Rakenne 3. (ka+S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	37	37	35
63	39	39	37
80	40	41	39
100	42	43	41
125	43	44	42
160	44	45	43
200	44	44	43
250	42	42	41
315	43	41	44
400	43	45	46
500	46	47	47
630	49	50	47
800	52	53	50
1000	54	55	53
1250	57	58	55
1600	60	61	58
2000	63	63	61
2500	65	66	63
3150	67	68	65
4000	70	71	68
5000	72	73	70

R _w	52	53	52
C	-1	-1	-1
C _{tr}	-3	-4	-3



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Umpi, muotti 1972-1976

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	60	85	145
2.	52	75	163
3.	98	106	87

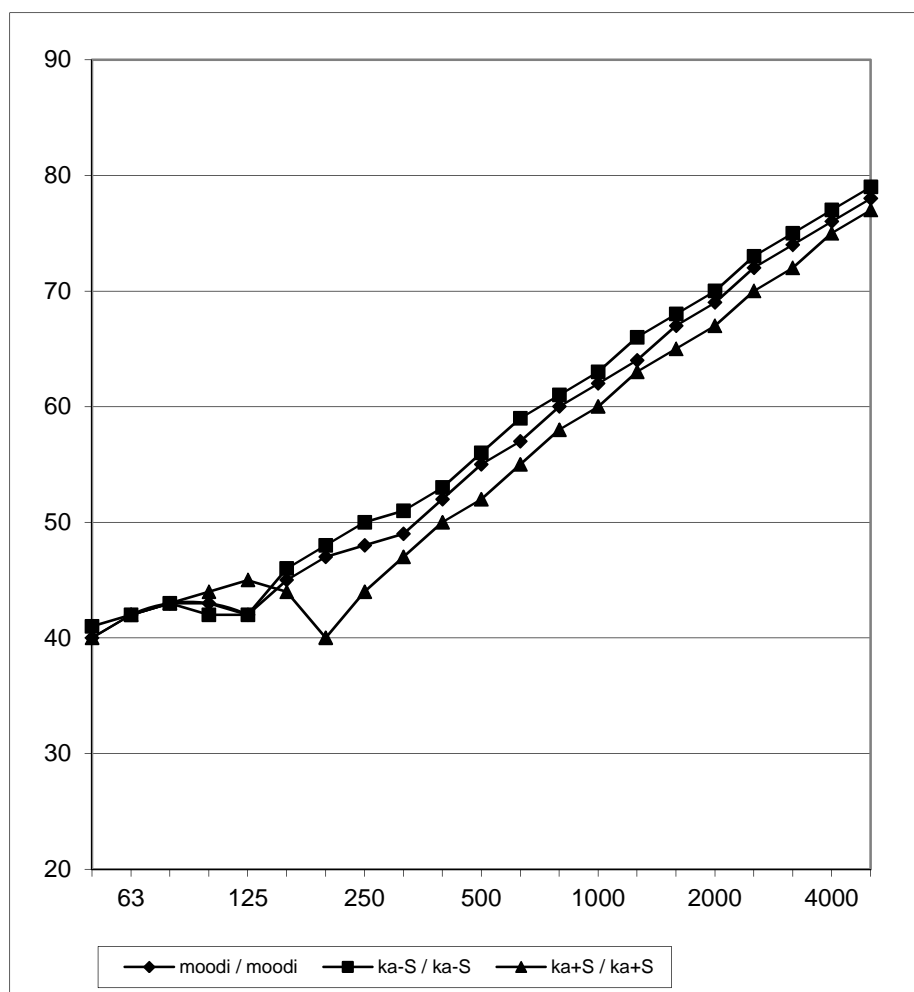
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka-S / ka-S)

Rakenne 3. (ka+S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	40	41	40
63	42	42	42
80	43	43	43
100	43	42	44
125	42	42	45
160	45	46	44
200	47	48	40
250	48	50	44
315	49	51	47
400	52	53	50
500	55	56	52
630	57	59	55
800	60	61	58
1000	62	63	60
1250	64	66	63
1600	67	68	65
2000	69	70	67
2500	72	73	70
3150	74	75	72
4000	76	77	75
5000	78	79	77

R _w	59	60	56
C	-1	-1	-1
C _{tr}	-4	-4	-5



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Ruutu, pesu 1972-1976

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	60	85	65
2.	53	75	82
3.	70	106	34

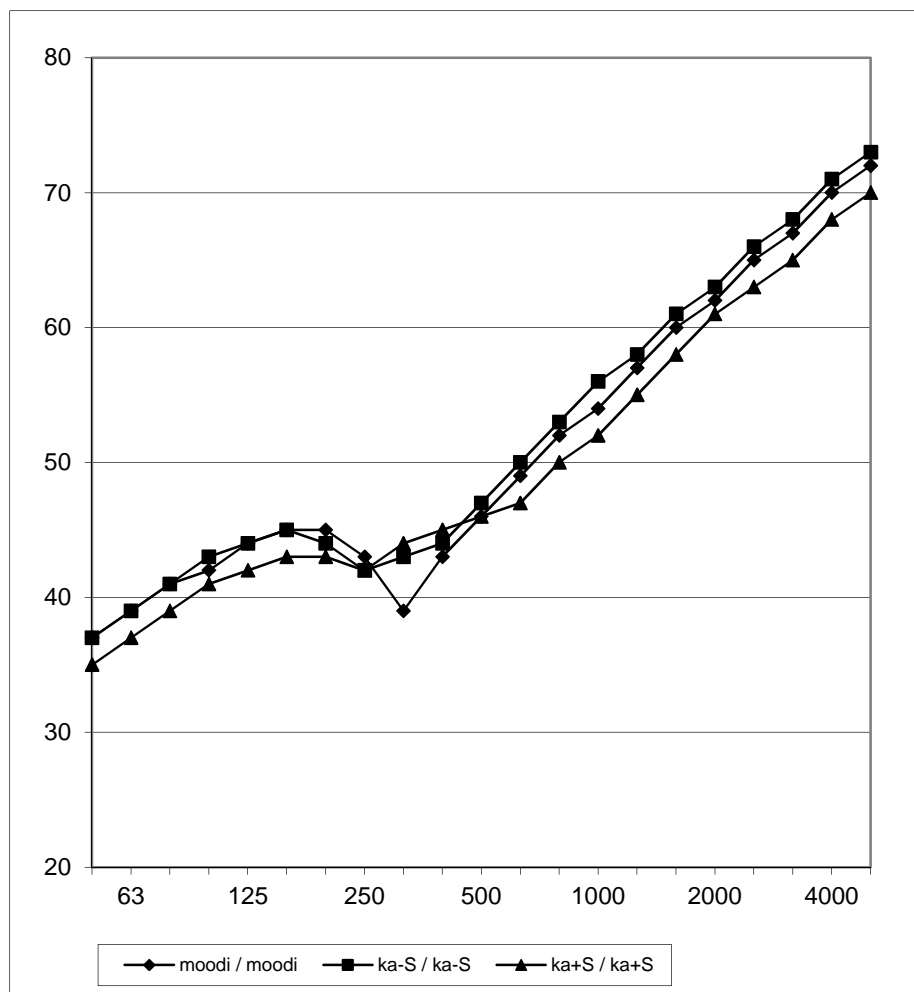
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka-S / ka-S)

Rakenne 3. (ka+S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	37	37	35
63	39	39	37
80	41	41	39
100	42	43	41
125	44	44	42
160	45	45	43
200	45	44	43
250	43	42	42
315	39	43	44
400	43	44	45
500	46	47	46
630	49	50	47
800	52	53	50
1000	54	56	52
1250	57	58	55
1600	60	61	58
2000	62	63	61
2500	65	66	63
3150	67	68	65
4000	70	71	68
5000	72	73	70

R _w	52	53	51
C	-1	-1	0
C _{tr}	-4	-3	-2



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Umpi, pesu 1972-1976

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	60	85	145
2.	52	75	163
3.	76	106	109

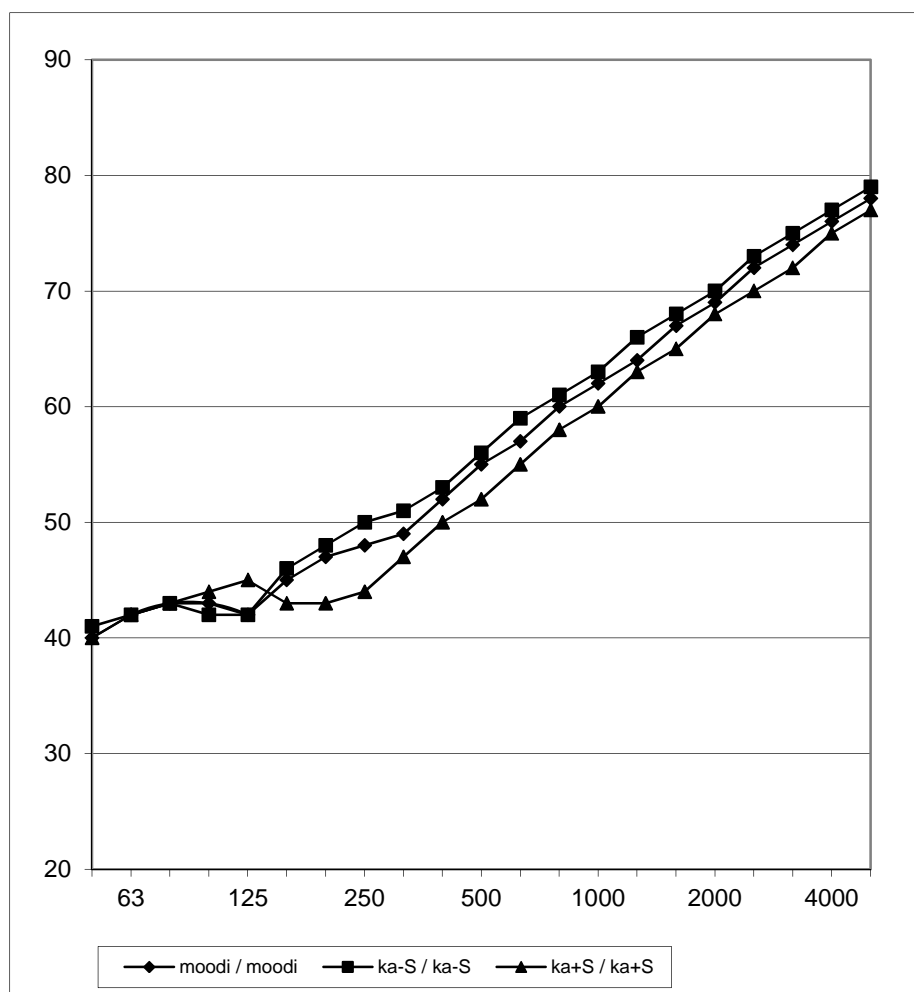
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka-S / ka-S)

Rakenne 3. (ka+S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	40	41	40
63	42	42	42
80	43	43	43
100	43	42	44
125	42	42	45
160	45	46	43
200	47	48	43
250	48	50	44
315	49	51	47
400	52	53	50
500	55	56	52
630	57	59	55
800	60	61	58
1000	62	63	60
1250	64	66	63
1600	67	68	65
2000	69	70	68
2500	72	73	70
3150	74	75	72
4000	76	77	75
5000	78	79	77

R _w	59	60	56
C	-1	-1	-1
C _{tr}	-4	-4	-4



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Ruutu, harjattu 1977-1987

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	70	120	70
2.	73	94	93
3.	50	124	86

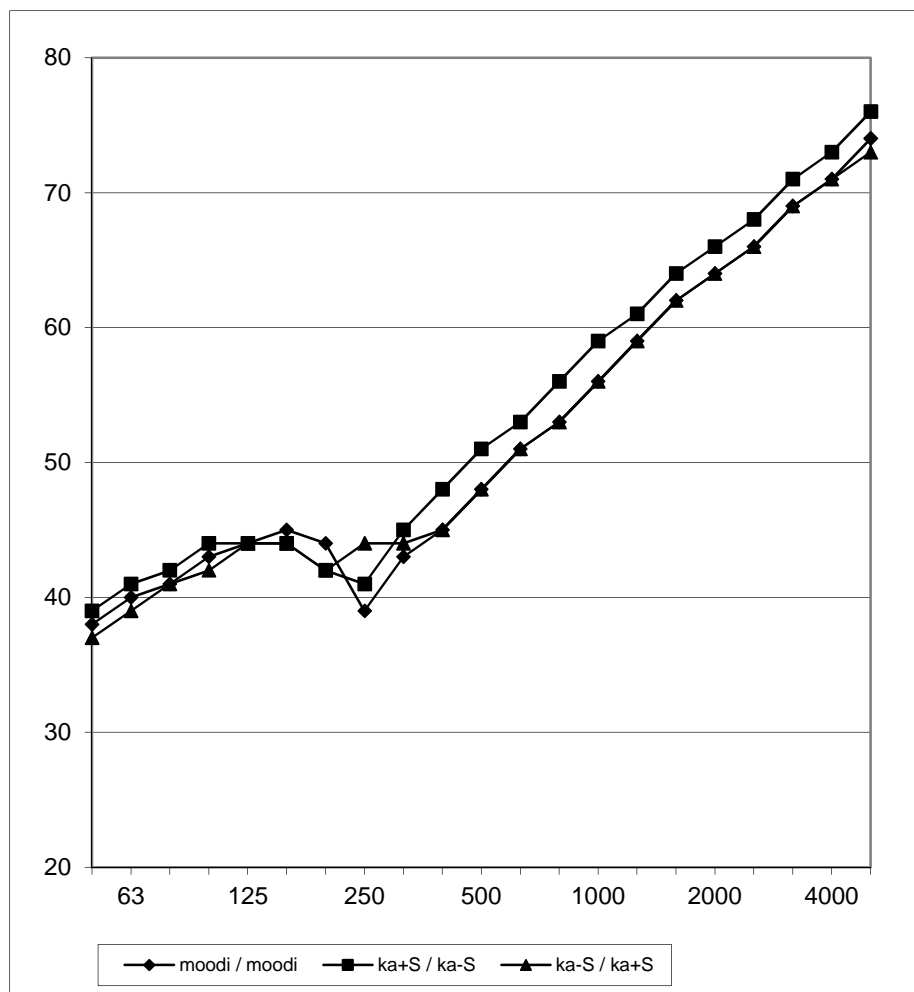
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka+S / ka-S)

Rakenne 3. (ka-S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	38	39	37
63	40	41	39
80	41	42	41
100	43	44	42
125	44	44	44
160	45	44	44
200	44	42	42
250	39	41	44
315	43	45	44
400	45	48	45
500	48	51	48
630	51	53	51
800	53	56	53
1000	56	59	56
1250	59	61	59
1600	62	64	62
2000	64	66	64
2500	66	68	66
3150	69	71	69
4000	71	73	71
5000	74	76	73

R _w	53	55	54
C	-1	-1	-1
C _{tr}	-4	-4	-4



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Umpi, harjattu 1977-1987

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	60	120	160
2.	73	94	173
3.	50	124	166

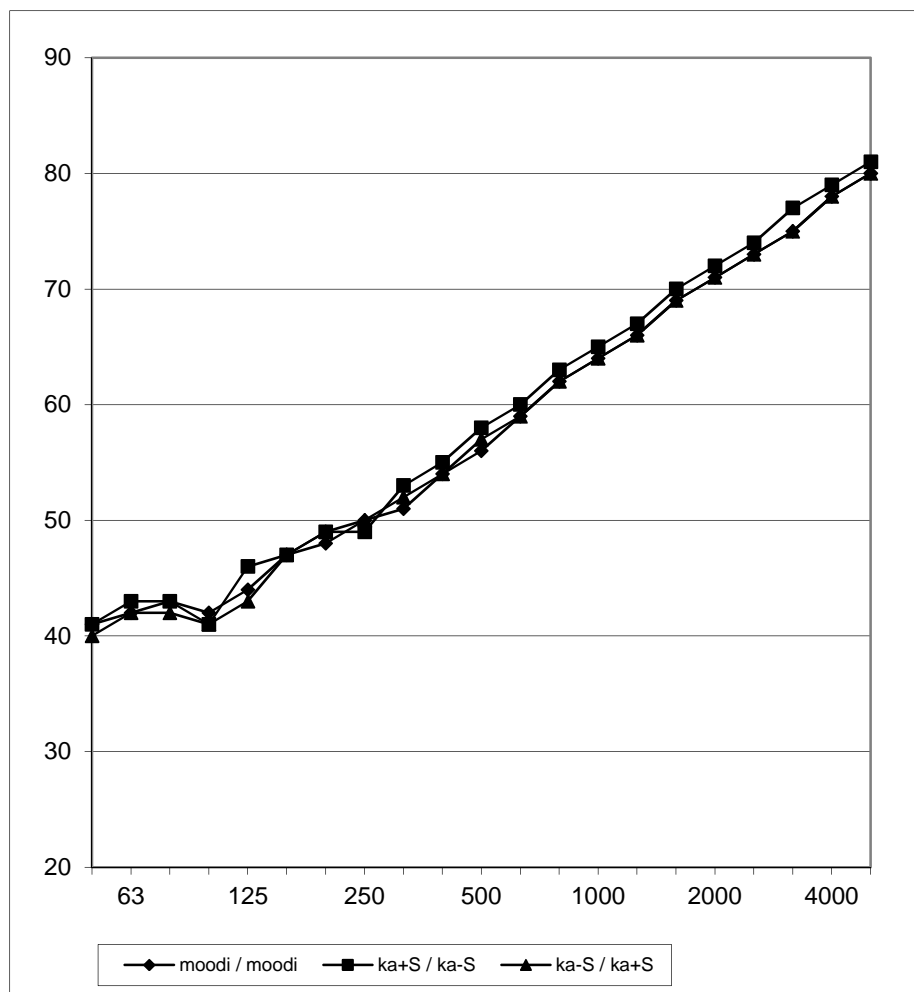
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka+S / ka-S)

Rakenne 3. (ka-S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	41	41	40
63	42	43	42
80	43	43	42
100	42	41	41
125	44	46	43
160	47	47	47
200	48	49	49
250	50	49	50
315	51	53	52
400	54	55	54
500	56	58	57
630	59	60	59
800	62	63	62
1000	64	65	64
1250	66	67	66
1600	69	70	69
2000	71	72	71
2500	73	74	73
3150	75	77	75
4000	78	79	78
5000	80	81	80

R _w	61	62	61
C	-2	-1	-1
C _{tr}	-5	-5	-5



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Ruutu, muotti 1977-1987

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	65	120	75
2.	51	94	114
3.	79	124	56

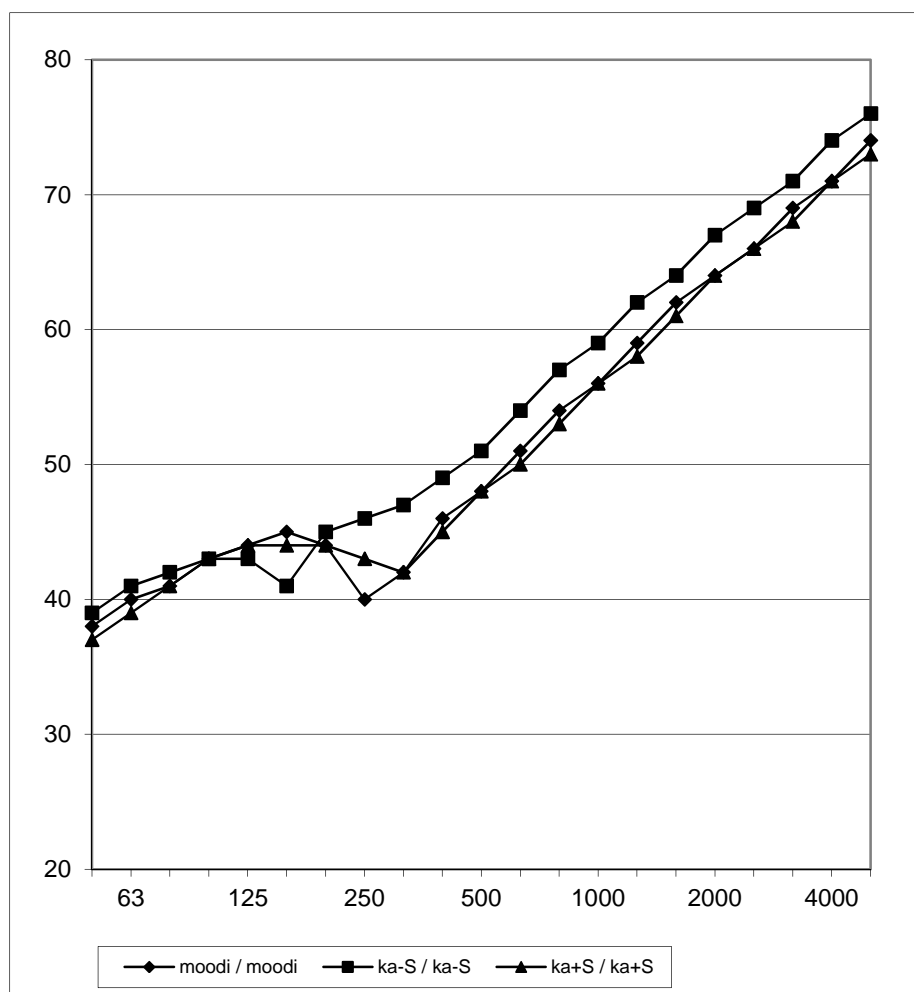
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka-S / ka-S)

Rakenne 3. (ka+S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	38	39	37
63	40	41	39
80	41	42	41
100	43	43	43
125	44	43	44
160	45	41	44
200	44	45	44
250	40	46	43
315	42	47	42
400	46	49	45
500	48	51	48
630	51	54	50
800	54	57	53
1000	56	59	56
1250	59	62	58
1600	62	64	61
2000	64	67	64
2500	66	69	66
3150	69	71	68
4000	71	74	71
5000	74	76	73

R _w	53	56	53
C	-1	-1	-1
C _{tr}	-4	-4	-3



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Umpi, muotti 1977-1987

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	55	120	165
2.	56	94	190
3.	84	124	132

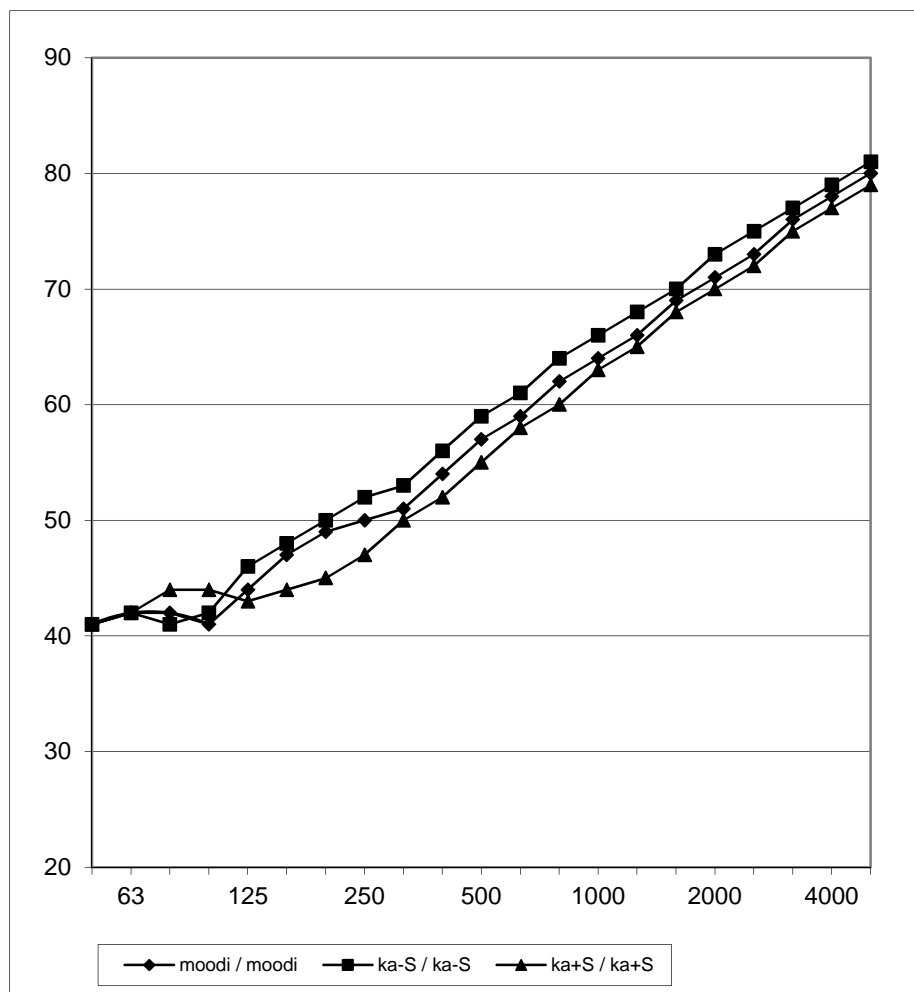
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka-S / ka-S)

Rakenne 3. (ka+S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	41	41	41
63	42	42	42
80	42	41	44
100	41	42	44
125	44	46	43
160	47	48	44
200	49	50	45
250	50	52	47
315	51	53	50
400	54	56	52
500	57	59	55
630	59	61	58
800	62	64	60
1000	64	66	63
1250	66	68	65
1600	69	70	68
2000	71	73	70
2500	73	75	72
3150	76	77	75
4000	78	79	77
5000	80	81	79

R _w	61	62	59
C	-1	0	-1
C _{tr}	-5	-4	-5



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Ruutu, pesu 1977-1987

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	60	120	80
2.	54	94	112
3.	70	124	66

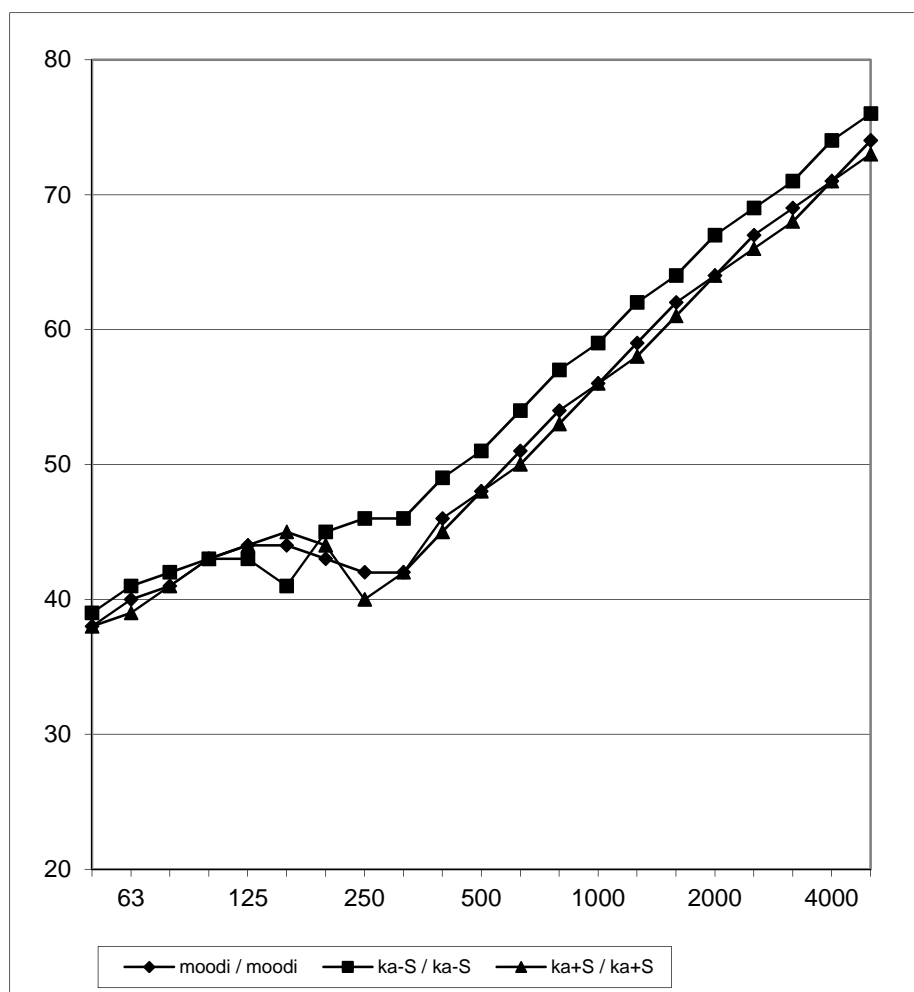
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka-S / ka-S)

Rakenne 3. (ka+S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	38	39	38
63	40	41	39
80	41	42	41
100	43	43	43
125	44	43	44
160	44	41	45
200	43	45	44
250	42	46	40
315	42	46	42
400	46	49	45
500	48	51	48
630	51	54	50
800	54	57	53
1000	56	59	56
1250	59	62	58
1600	62	64	61
2000	64	67	64
2500	67	69	66
3150	69	71	68
4000	71	74	71
5000	74	76	73

R _w	53	56	53
C	-1	-1	-1
C _{tr}	-3	-4	-4



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Umpi, pesu 1977-1987

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	60	120	160
2.	53	94	193
3.	71	124	145

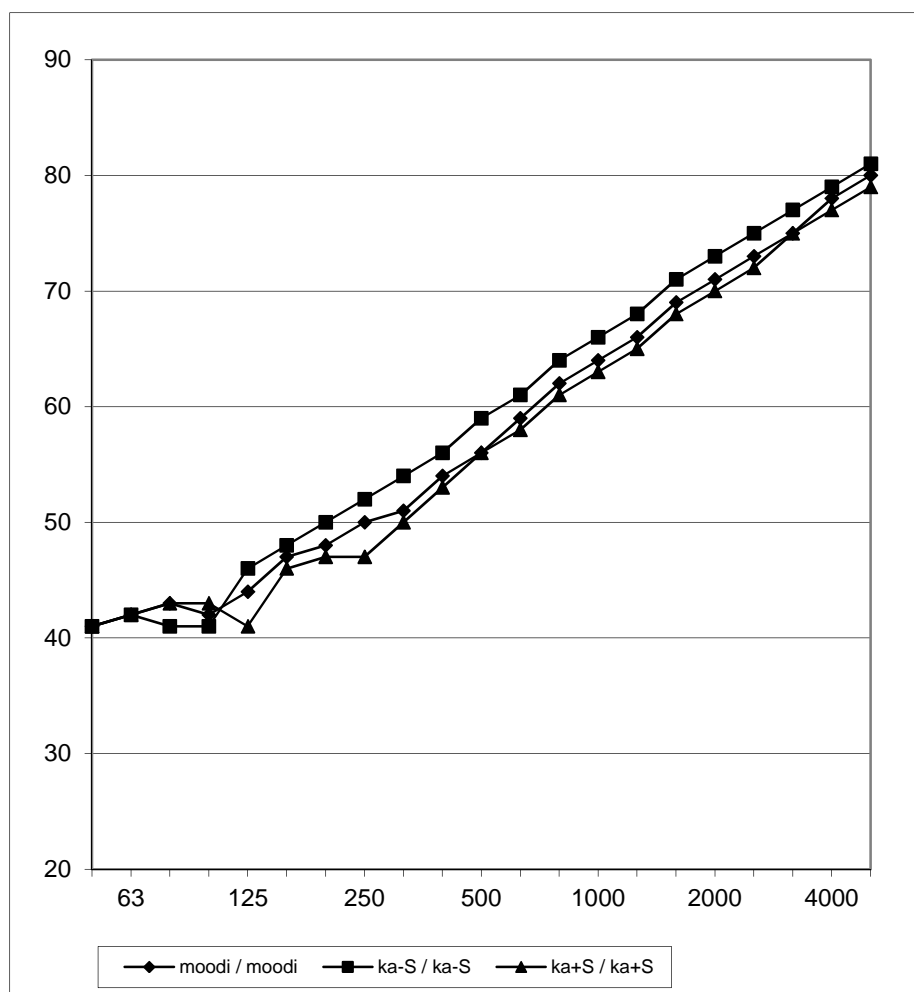
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka-S / ka-S)

Rakenne 3. (ka+S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	41	41	41
63	42	42	42
80	43	41	43
100	42	41	43
125	44	46	41
160	47	48	46
200	48	50	47
250	50	52	47
315	51	54	50
400	54	56	53
500	56	59	56
630	59	61	58
800	62	64	61
1000	64	66	63
1250	66	68	65
1600	69	71	68
2000	71	73	70
2500	73	75	72
3150	75	77	75
4000	78	79	77
5000	80	81	79

R _w	61	63	59
C	-2	-1	-1
C _{tr}	-5	-5	-4



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Ruutu, tiili 1977-1987

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	80	120	60
2.	71	94	95
3.	95	124	40

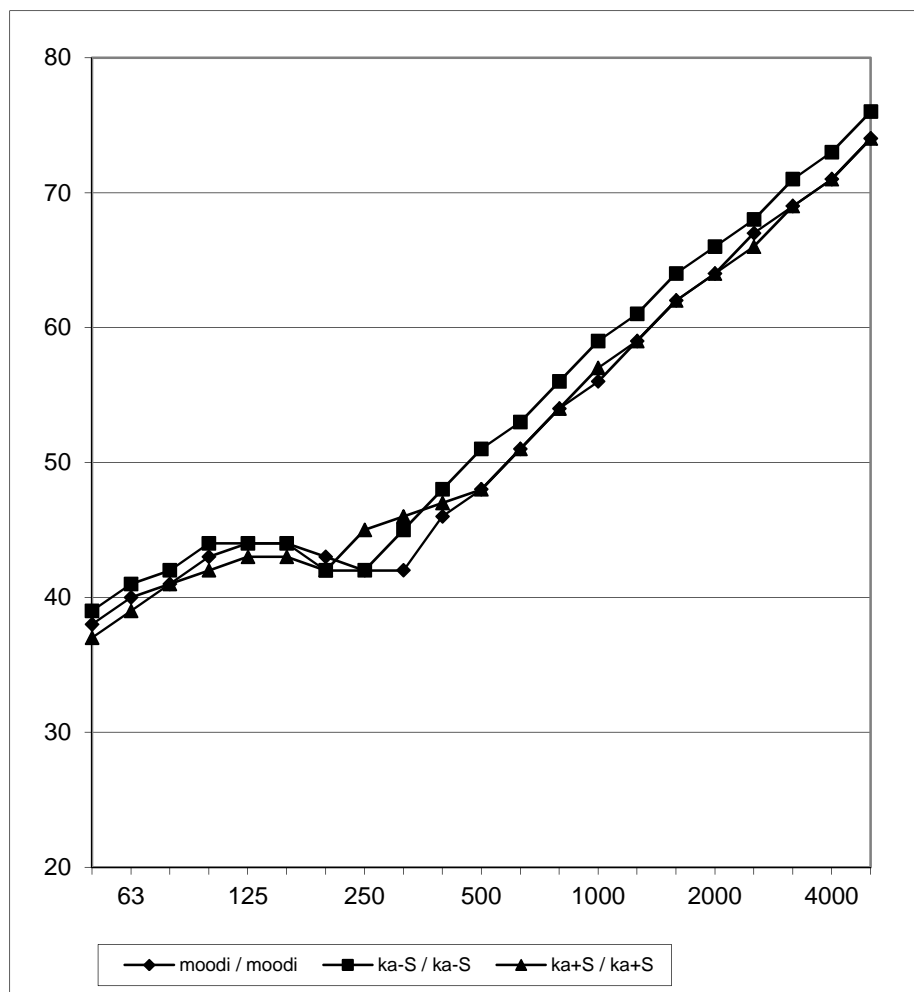
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka-S / ka-S)

Rakenne 3. (ka+S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	38	39	37
63	40	41	39
80	41	42	41
100	43	44	42
125	44	44	43
160	44	44	43
200	43	42	42
250	42	42	45
315	42	45	46
400	46	48	47
500	48	51	48
630	51	53	51
800	54	56	54
1000	56	59	57
1250	59	61	59
1600	62	64	62
2000	64	66	64
2500	67	68	66
3150	69	71	69
4000	71	73	71
5000	74	76	74

R _w	53	55	54
C	-1	-1	-1
C _{tr}	-3	-4	-3



Ilmaääneneristävyyden laskenta

Olemassa olevaa rakennuskantaa edustavat elementit.

Umpi, tiili 1977-1987

Rakennetiedot

	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	85	120	135
2.	72	94	174
3.	92	124	123

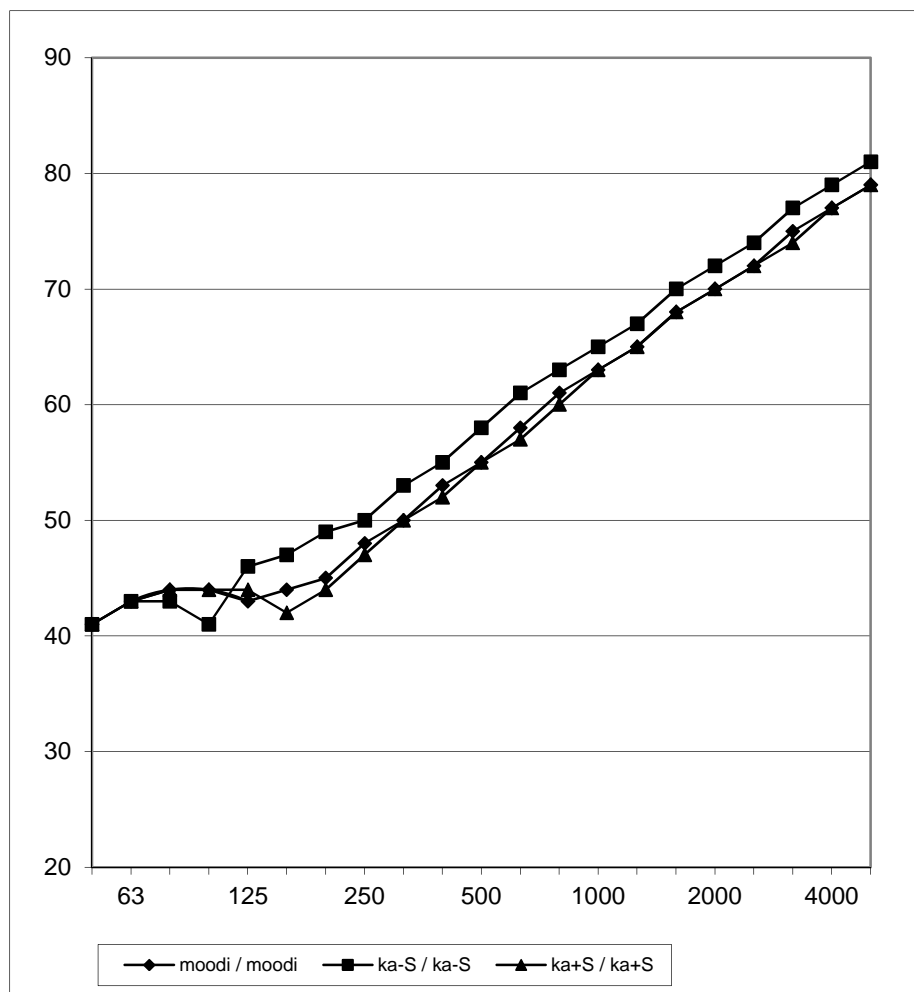
Rakenne 1. (moodi / moodi)

Rakenne 2. (ka-S / ka-S)

Rakenne 3. (ka+S / ka+S)

Rakenne			
	1.	2.	3.
f [Hz]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]	R _{1/3} [dB]
50	41	41	41
63	43	43	43
80	44	43	44
100	44	41	44
125	43	46	44
160	44	47	42
200	45	49	44
250	48	50	47
315	50	53	50
400	53	55	52
500	55	58	55
630	58	61	57
800	61	63	60
1000	63	65	63
1250	65	67	65
1600	68	70	68
2000	70	72	70
2500	72	74	72
3150	75	77	74
4000	77	79	77
5000	79	81	79

R _w	59	62	58
C	-1	-1	-1
C _{tr}	-5	-5	-5



<

Ruutu, harjattu 1977-1987				Ruutu, muotti 1977-1987				Ruutu, pesu 1977-1987				Ruutu, tiili 1977-1987			
RAK	UK	EP	SK	UK	EP	SK	UK	EP	SK	UK	EP	SK	UK	EP	SK
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1.	70	120	70	65	120	75	60	120	80	80	120	60	80	120	60
2.	73	94	93	51	94	114	54	94	112	71	94	95	71	94	95
3.	50	124	86	79	124	56	70	124	66	95	124	40	95	124	40

Rakenne			Rakenne			Rakenne			Rakenne		
1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
R _w	53	55	54	53	56	53	53	56	53	53	55
C	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C _{tr}	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-4	-3	-3	-3

R _w + C _{tr}	49	51	50	49	52	50	50	52	49	50	51
----------------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Sisäkuori

SK	70 mm	93 mm	86 mm	75 mm	114 mm	56 mm	80 mm	112 mm	66 mm	60 mm	95 mm	40 mm
BET	K25	K25	K25	K25	K25	K25	K25	K25	K25	K25	K25	K25

R _w	46	50	49	47	52	44	48	52	46	45	50	41
C	-1	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-1
C _{tr}	-3	-5	-5	-4	-6	-3	-4	-6	-4	-4	-5	-2

R _w + C _{tr}	43	45	44	43	46	41	44	46	42	41	45	39
----------------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

muutos:												
R _w	7	5	5	6	4	9	5	4	7	8	5	13

R _w + C _{tr}	6	6	6	6	6	9	6	6	7	9	6	12
----------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Umppi, harjattu 1960-1971				Umppi, muotittu 1960-1971				Umppi, harjattu 1972-1976				Umppi, muotittu 1972-1976				Umppi, pesu 1972-1976			
RAK		UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.		60	85	125	47	85	138	50	85	155	60	85	145	60	85	145	60	85	145
2.		71	66	133	41	66	162	67	75	148	52	75	163	52	75	163	52	75	163
3.		46	92	132	75	92	103	45	106	139	98	106	87	76	106	109	76	106	109

Rakenne			Rakenne			Rakenne			Rakenne			Rakenne		
1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
R _w	57	58	58	58	60	56	59	59	58	60	56	59	59	60
C	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
C _{tr}	-4	-4	-4	-4	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4

R _w + C _{tr}	53	54	54	54	55	51	55	55	54	56	51	55	55	56
----------------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Sisäkuori

SK	125 mm	133 mm	132 mm	138 mm	162 mm	103 mm	155 mm	148 mm	139 mm	145 mm	163 mm	87 mm	145 mm	163 mm	109 mm
BET	K20	K20	K20	K20	K20	K20	K20	K20	K20	K20	K20	K20	K20	K20	K20

R _w	54	55	55	55	57	51	56	56	55	56	58	49	56	58	52
C	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-2	-2	-1
C _{tr}	-6	-5	-5	-5	-5	-5	-7	-6	-6	-6	-6	-4	-6	-6	-5

R _w + C _{tr}	48	50	50	50	50	46	49	49	50	50	52	45	50	52	47
----------------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

muutos:

R _w	3	3	3	3	3	5	3	3	3	3	2	7	3	2	4
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

R _w + C _{tr}	5	4	4	4	4	5	6	5	5	4	6	6	5	4	5
----------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Ilmaääneneristysluvun muutos, kun elementin ulkokuori puretaan

Umpi, harjattu 1977-1987 Umpi, muotti 1977-1987 Umpi, pesu 1977-1987 Umpi, tiili 1977-1987

RAK	Rakenne			Rakenne			Rakenne			Rakenne		
	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]	UK [mm]	EP [mm]	SK [mm]
1.	60	120	160	55	120	165	60	120	160	85	120	135
2.	73	94	173	56	94	190	53	94	193	72	94	174
3.	50	124	166	84	124	132	71	124	145	92	124	123

	Rakenne			Rakenne			Rakenne			Rakenne		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
R _w	61	62	61	61	62	59	61	63	59	59	62	58
C	-2	-1	-1	-1	0	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1
C _{tr}	-5	-5	-5	-5	-4	-5	-5	-5	-4	-5	-5	-5

R _w + C _{tr}	56	57	56	56	58	54	56	58	55	54	57	53
----------------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Sisäkuori

SK	160 mm	173 mm	166 mm	165 mm	190 mm	132 mm	160 mm	193 mm	145 mm	135 mm	174 mm	123 mm
BET	K25	K25	K25	K25	K25	K25	K25	K25	K25	K25	K25	K25

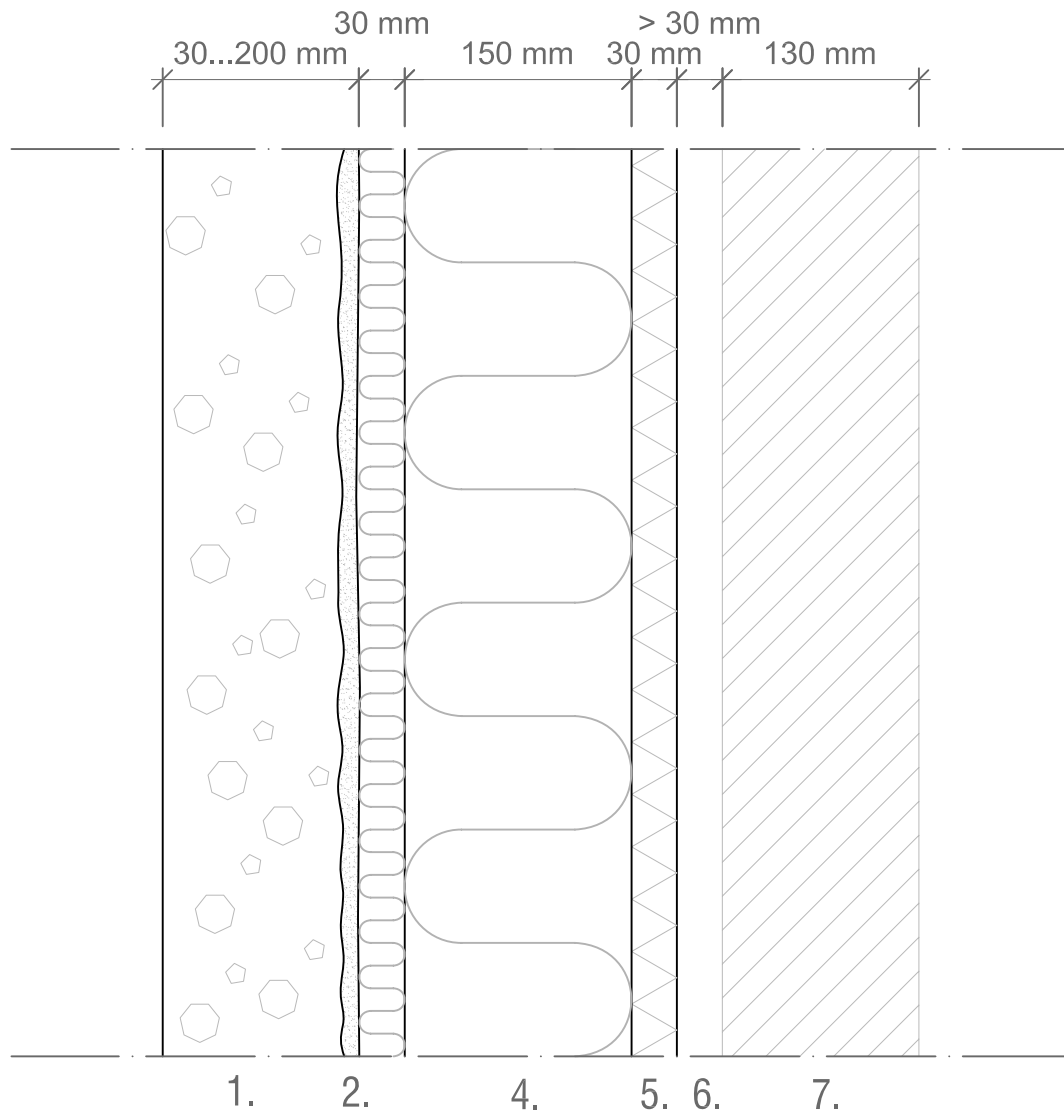
R _w	58	59	58	58	60	55	58	61	56	55	59	54
C	-1	-1	-1	-1	0	-2	-1	-1	-3	-2	-1	-2
C _{tr}	-5	-5	-5	-5	-4	-6	-5	-5	-7	-6	-5	-6

R _w + C _{tr}	53	54	53	53	56	49	53	56	49	49	54	48
----------------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

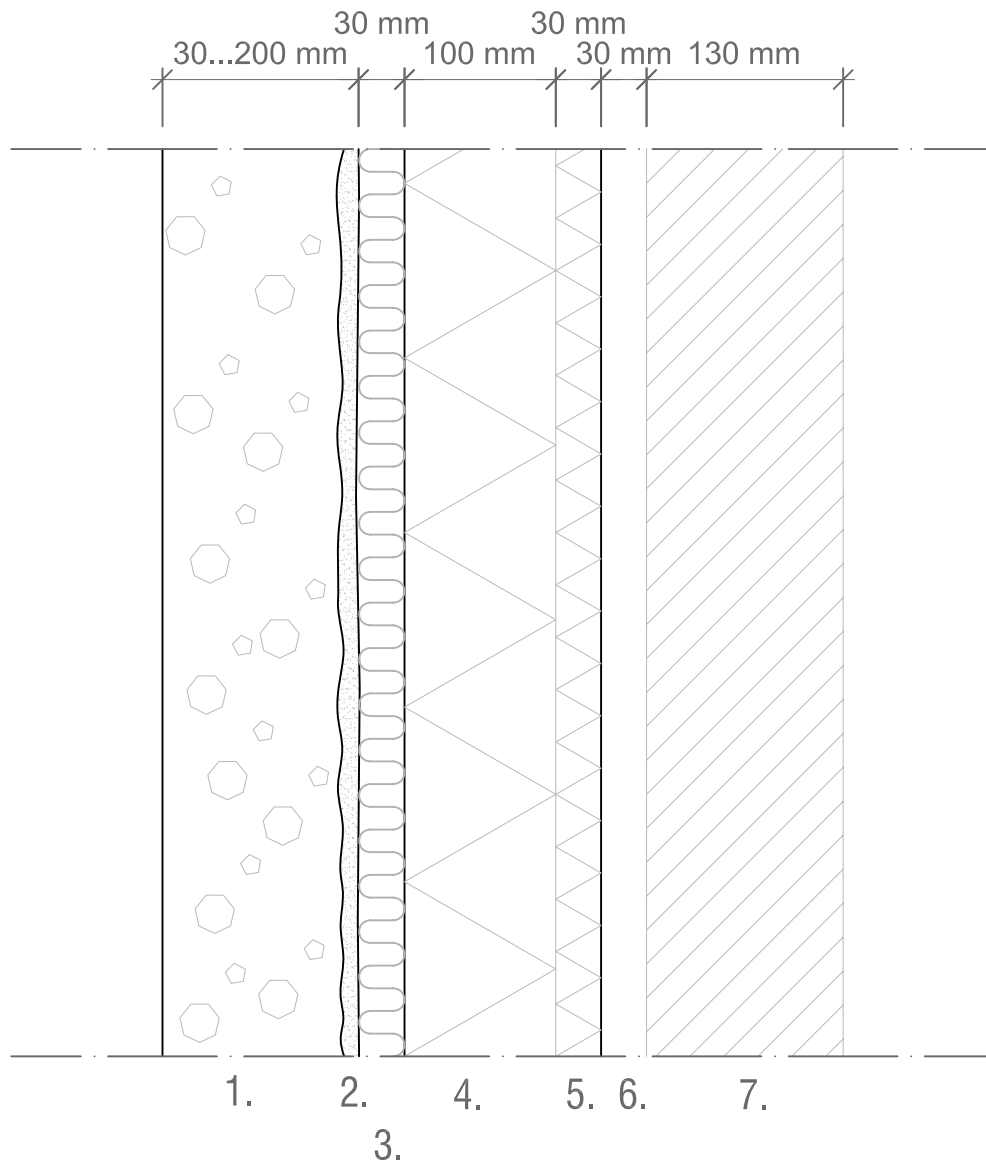
muutos:

R _w	3	3	3	3	2	4	3	2	3	4	3	4
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

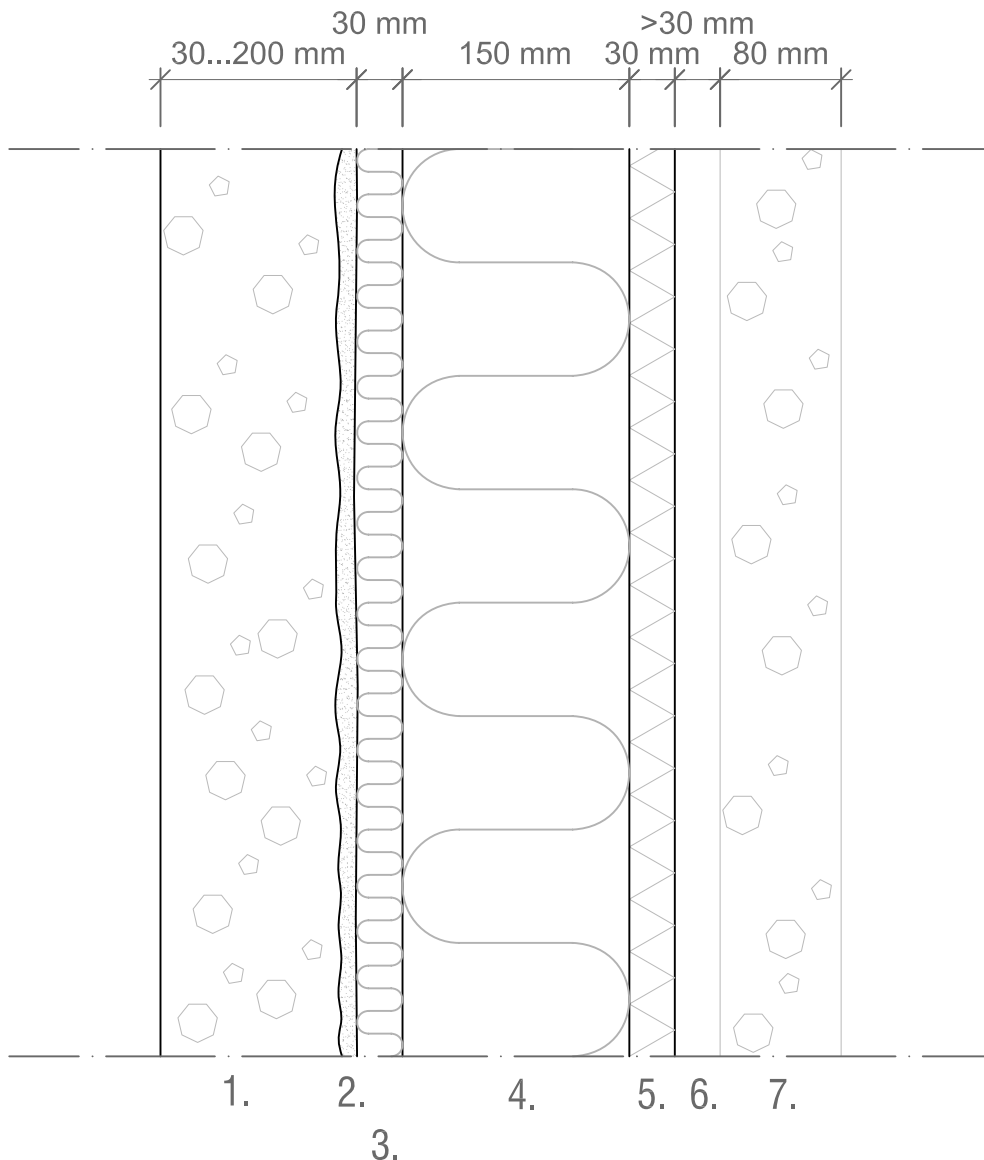
R _w + C _{tr}	3	3	3	3	2	5	3	2	6	5	3	5
----------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



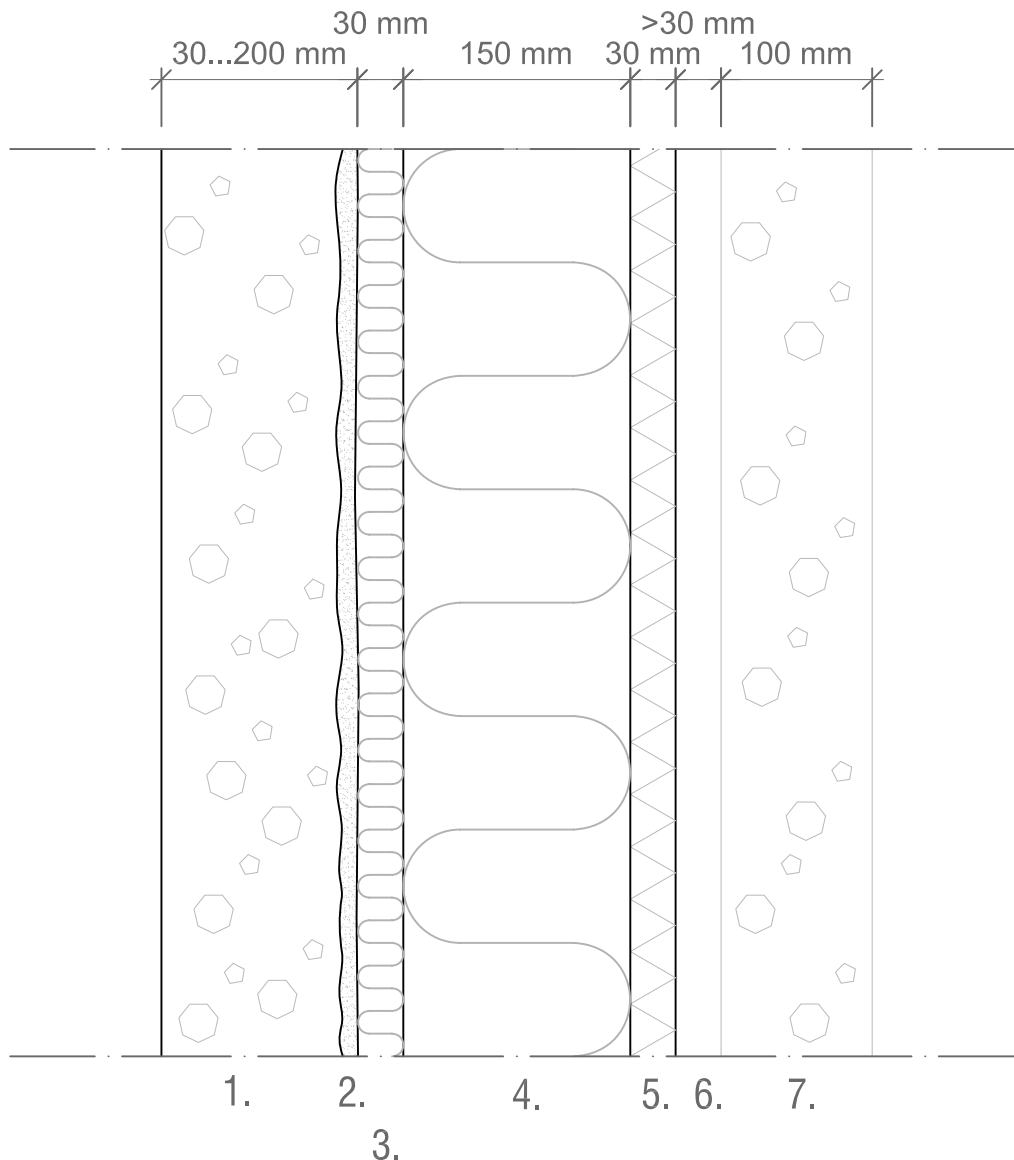
1. alkuperäisen elementin sisäkuori
2. oikaisulaastikerros (tarvittaessa)
3. tasausvilla Isover KH-30
4. lämmöneriste
Isover KL-33-150
PAROC eXtra 150
5. Tuulensuojavilla
Isover RKL-31 FACADE 30
PAROC Cortex 30
6. tuuletusväli
7. tiilimuuraus



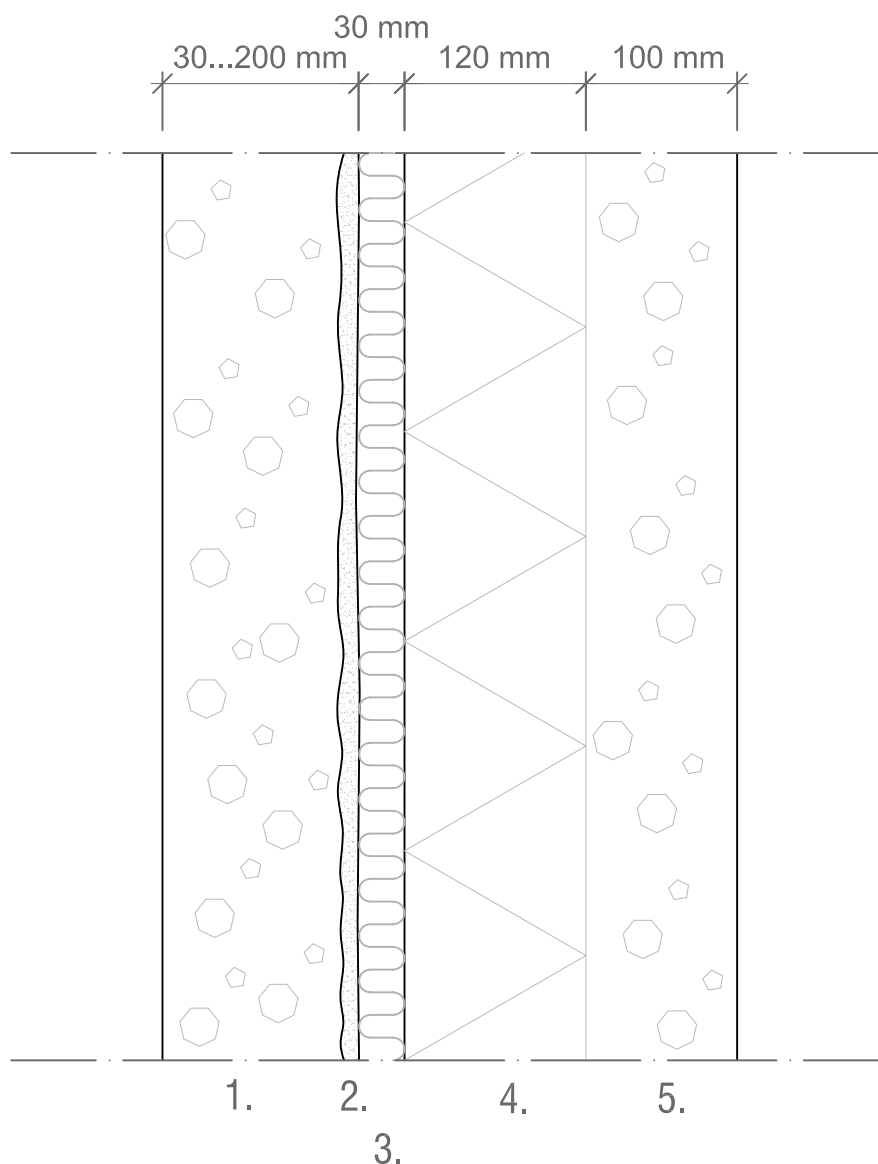
1. alkuperäisen elementin sisäkuori
2. oikaisulaastikerros (tarvittaessa)
3. tasausvilla Isover KH-30
4. lämmöneriste SPU AL100
5. Tuulensuojavilla
Isover RKL-31 FACADE 30
PAROC Cortex 30
6. tuuletusväli
7. tiilimuuraus



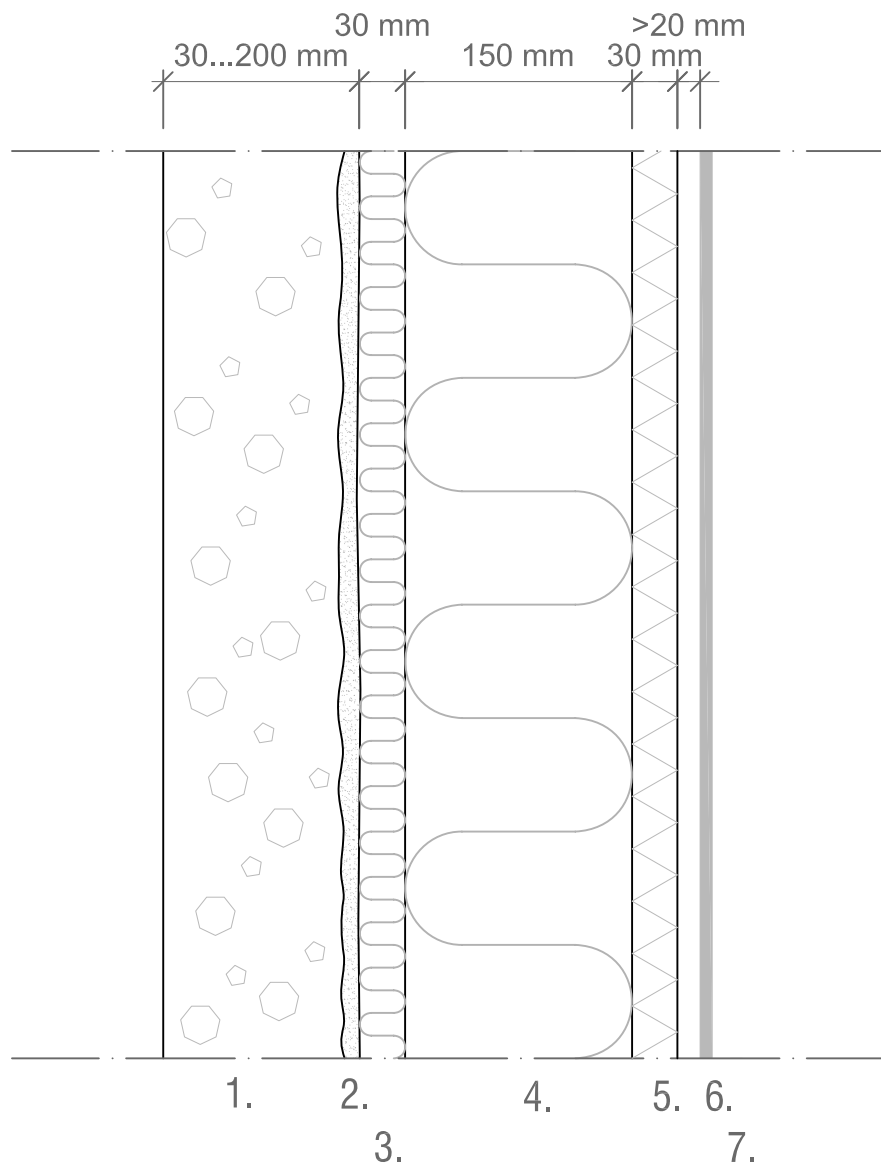
1. alkuperäisen elementin sisäkuori
2. oikaisulaastikerros (tarvittaessa)
3. tasausvilla Isover KH-30
4. lämmöneriste
Isover KL-33-150
PAROC eXtra 150
5. Tuulensuojavilla
Isover RKL-31 FACADE 30
PAROC Cortex 30
6. tuuletusväli
7. ripustettava kuorielementti



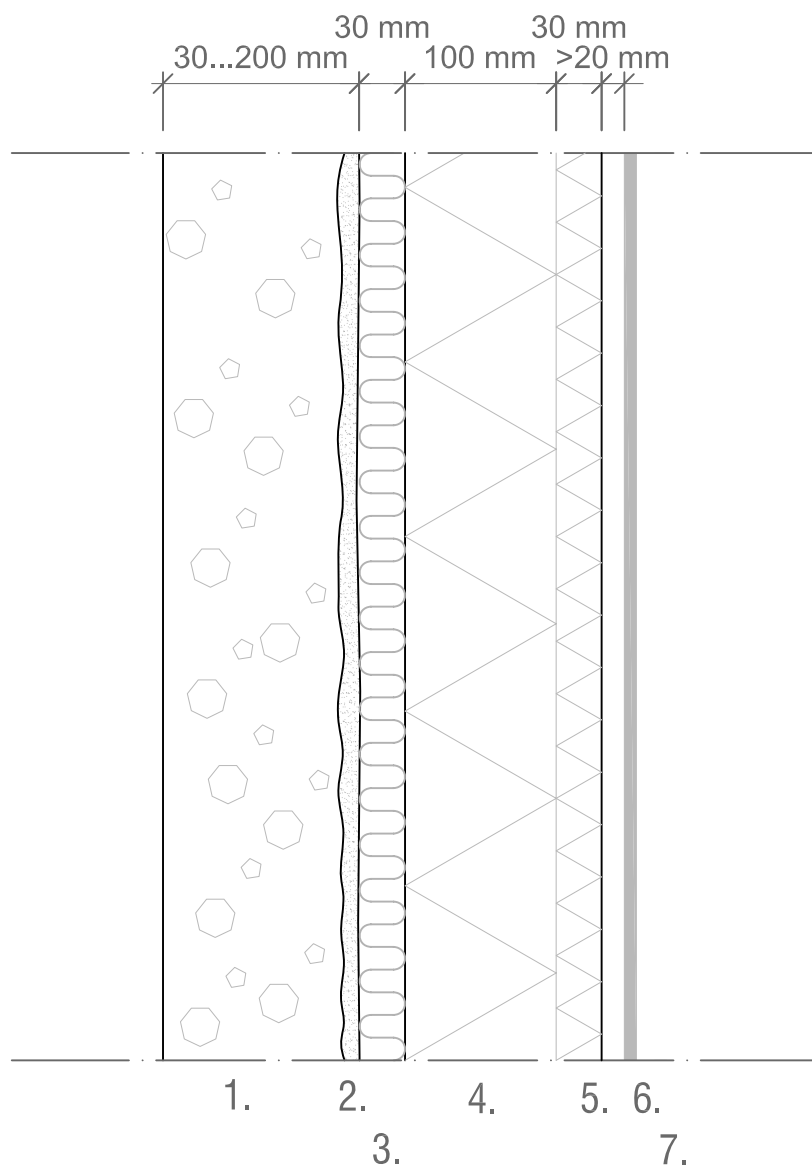
1. alkuperäisen elementin sisäkuori
2. oikaisulaastikerros (tarvittaessa)
3. tasausvilla Isover KH-30
4. lämmöneriste
Isover KL-33-150
PAROC eXtra 150
5. Tuulensuojavilla
Isover RKL-31 FACADE 30
PAROC Cortex 30
6. tuuletusväli
7. kantava kuorielementti



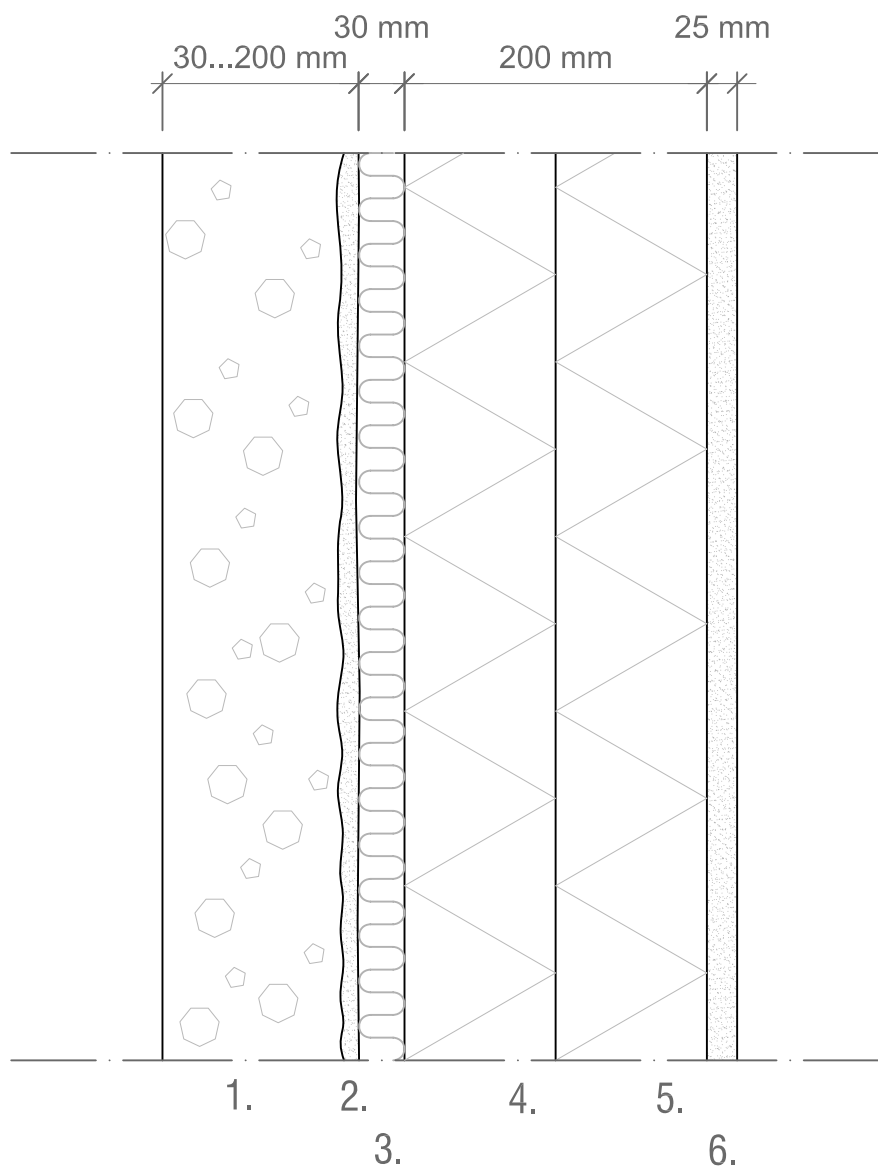
1. alkuperäisen elementin sisäkuori
2. oikaisulaastikerros (tarvittaessa)
3. tasausvilla Isover KH-30
4. lämmöneriste SPU AL120
5. kuorielementti (valetaan tehtaalla kiinni lämmöneristeeseen)



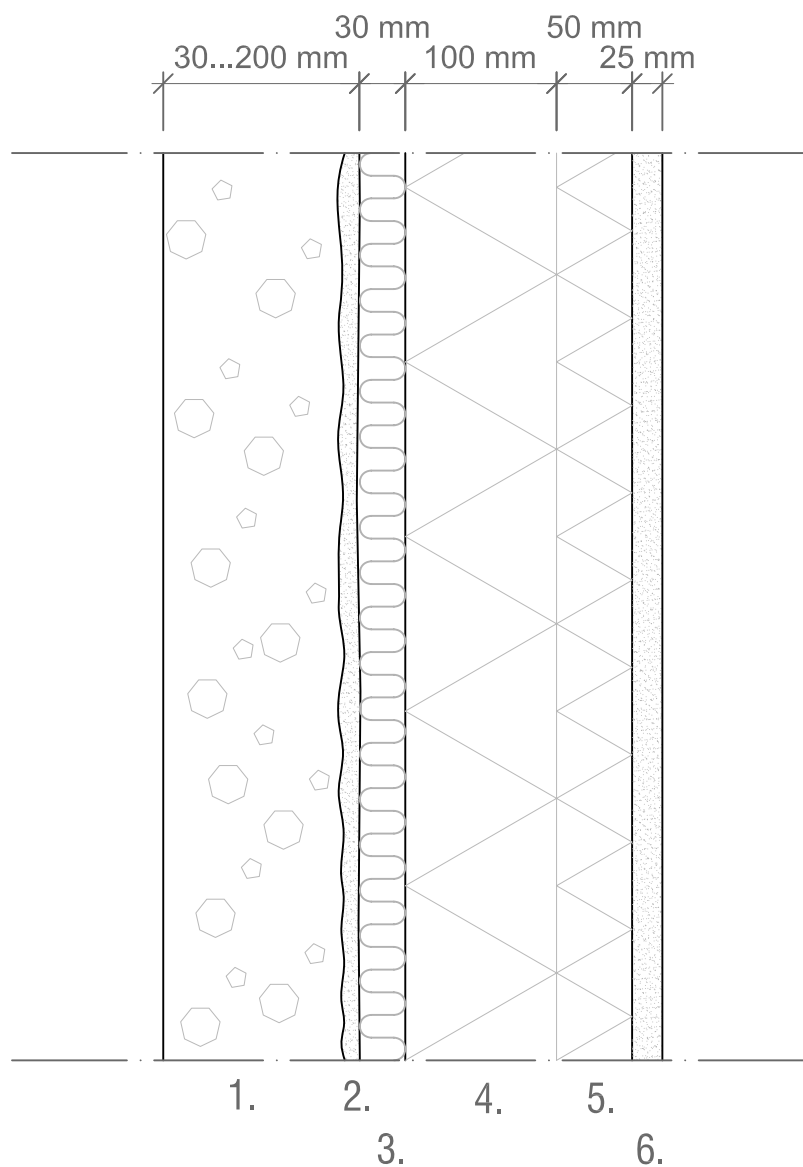
1. alkuperäisen elementin sisäkuori
2. oikaisulaastikerros (tarvittaessa)
3. tasausvilla Isover KH-30
4. lämmöneriste
Isover KL-33-150
PAROC eXtra 150
5. Tuulensuojavilla
Isover RKL-31 FACADE 30
PAROC Cortex 30
6. tuuletusväli
7. levyverhous



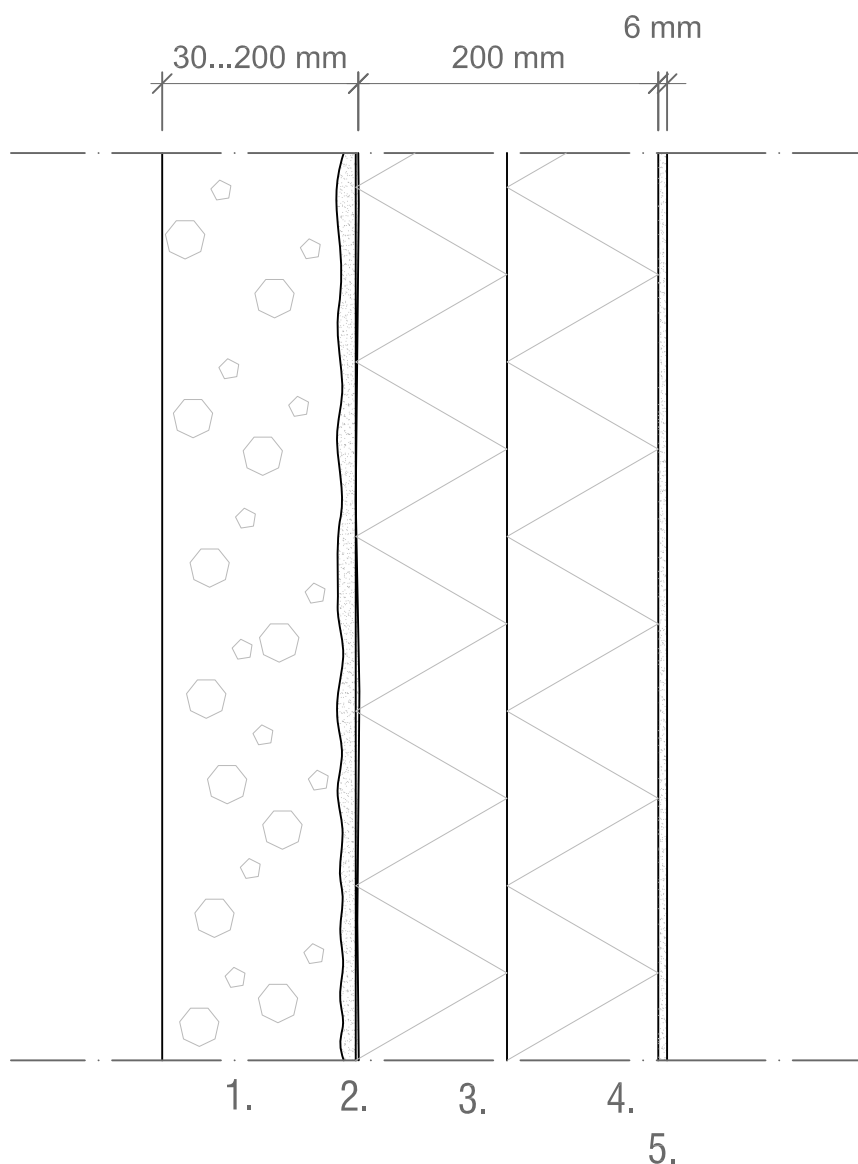
1. alkuperäisen elementin sisäkuori
2. oikaisulaastikerros (tarvittaessa)
3. tasausvilla Isover KH-30
4. lämmöneriste SPU AL100
5. Tuulensuojavilla
Isover RKL-31 FACADE 30
PAROC Cortex 30
6. tuuletusväli
7. levyverhous



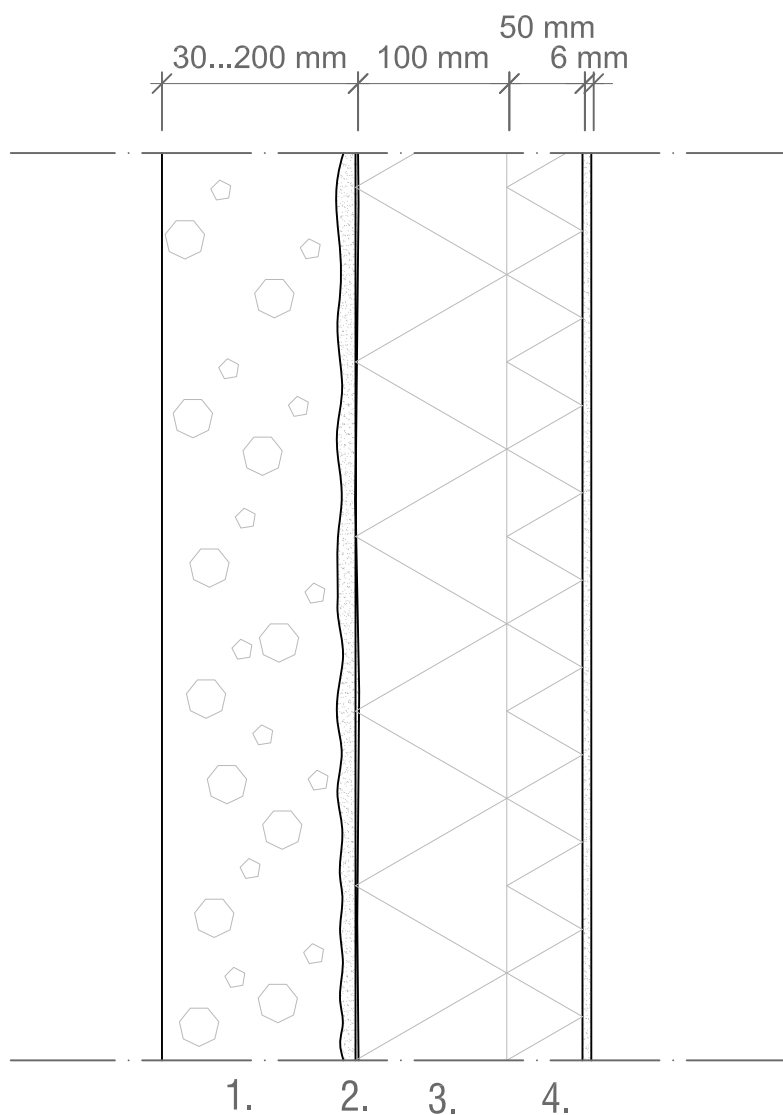
1. alkuperäisen elementin sisäkuori
2. oikaisulaastikerros (tarvittaessa)
3. tasausvilla Isover KH-30
- 4.-5. Rappausvilla
Isover FS5-100+100
PAROC FAS1 100+100
6. paksurappaus



1. alkuperäisen elementin sisäkuori
2. oikaisulaastikerros (tarvittaessa)
3. tasausvilla Isover KH-30
4. lämmöneriste SPU AL100
5. Rappausvilla
Isover FS5-50
PAROC FAS1 50
6. paksurappaus



1. alkuperäisen elementin sisäkuori
2. oikaisulaastikerros (tarvittaessa)
- 3.-4. Rappausvilla
Isover FS30-100+100
PAROC FAS4 100+100
5. ohutrappaus



1. alkuperäisen elementin sisäkuori
2. oikaisulaastikerros
3. lämmöneriste SPU AL100
4. Rappausvilla
Isover FS30-50
PAROC FAS4 50
5. ohutrappaus

Uusien rakenteiden ilmääneneristyskyky

RAK. TYYPPI	Pintamateriaali	Eriste	Sisäkuori	Nro			R _w	C	C _{tr}	R _w + C _{tr}
1	TIILI	VILLA	BET K20 35 mm		1		61	-1	-4	57
	TIILI	VILLA	BET K20 80 mm		2		57	-2	-6	51
	TIILI	VILLA	BET K20 85 mm		3		57	-2	-5	52
	TIILI	VILLA	BET K20 100 mm		4		59	-1	-5	54
	TIILI	VILLA	BET K20 160 mm		5		65	-1	-5	60
	TIILI	VILLA	BET K25 40 mm		6		60	-1	-4	56
	TIILI	VILLA	BET K25 110 mm		7		60	-1	-5	55
	TIILI	VILLA	BET K25 120 mm		8		61	-1	-5	56
	TIILI	VILLA	BET K25 190 mm		9		68	-1	-5	63
2	TIILI	SPU	BET K20 35 mm		10		61	-1	-4	57
	TIILI	SPU	BET K20 80 mm		11		57	-2	-6	51
	TIILI	SPU	BET K20 85 mm		12		57	-2	-5	52
	TIILI	SPU	BET K20 100 mm		13		59	-1	-5	54
	TIILI	SPU	BET K20 160 mm		14		65	-1	-5	60
	TIILI	SPU	BET K25 40 mm		15		60	-1	-4	56
	TIILI	SPU	BET K25 110 mm		16		60	-1	-5	55
	TIILI	SPU	BET K25 120 mm		17		61	-1	-5	56
	TIILI	SPU	BET K25 190 mm		18		68	-1	-5	63
3	PARMA-kuori 80	VILLA	BET K20 35 mm		19		61	-1	-5	56
	PARMA-kuori 80	VILLA	BET K20 80 mm		20		56	-1	-5	51
	PARMA-kuori 80	VILLA	BET K20 85 mm		21		57	-2	-6	51
	PARMA-kuori 80	VILLA	BET K20 100 mm		22		58	-2	-7	51
	PARMA-kuori 80	VILLA	BET K20 160 mm		23		64	-2	-6	58
	PARMA-kuori 80	VILLA	BET K25 40 mm		24		60	-1	-5	55
	PARMA-kuori 80	VILLA	BET K25 110 mm		25		59	-2	-6	53
	PARMA-kuori 80	VILLA	BET K25 120 mm		26		60	-2	-6	54
	PARMA-kuori 80	VILLA	BET K25 190 mm		27		67	-1	-6	61
4	PARMA-kuori 100	VILLA	BET K20 35 mm		28		63	-1	-5	58
	PARMA-kuori 100	VILLA	BET K20 80 mm		29		59	-1	-5	54
	PARMA-kuori 100	VILLA	BET K20 85 mm		30		59	-2	-6	53
	PARMA-kuori 100	VILLA	BET K20 100 mm		31		58	-2	-6	52
	PARMA-kuori 100	VILLA	BET K20 160 mm		32		63	-2	-6	57
	PARMA-kuori 100	VILLA	BET K25 40 mm		33		62	-1	-5	57
	PARMA-kuori 100	VILLA	BET K25 110 mm		34		58	-2	-7	51
	PARMA-kuori 100	VILLA	BET K25 120 mm		35		59	-2	-7	52
	PARMA-kuori 100	VILLA	BET K25 190 mm		36		66	-1	-6	60
5	PARMA-kuori 80	SPU	BET K20 35 mm		37		51	0	-3	48
	PARMA-kuori 80	SPU	BET K20 80 mm		38		54	-1	-5	49
	PARMA-kuori 80	SPU	BET K20 85 mm		39		54	-1	-4	50
	PARMA-kuori 80	SPU	BET K20 100 mm		40		55	-2	-5	50
	PARMA-kuori 80	SPU	BET K20 160 mm		41		60	-2	-5	55
	PARMA-kuori 80	SPU	BET K25 40 mm		42		52	-1	-4	48
	PARMA-kuori 80	SPU	BET K25 110 mm		43		56	-1	-5	51
	PARMA-kuori 80	SPU	BET K25 120 mm		44		57	-2	-5	52
	PARMA-kuori 80	SPU	BET K25 190 mm		45		62	-1	-5	57
6	JS-levy	VILLA	BET K20 35 mm		46		55	-1	-3	52
	JS-levy	VILLA	BET K20 80 mm		47		61	-1	-4	57
	JS-levy	VILLA	BET K20 85 mm		48		62	-1	-5	57
	JS-levy	VILLA	BET K20 100 mm		49		63	-1	-5	58
	JS-levy	VILLA	BET K20 160 mm		50		68	-2	-7	61
	JS-levy	VILLA	BET K25 40 mm		51		56	-1	-3	53
	JS-levy	VILLA	BET K25 110 mm		52		64	-3	-7	57
	JS-levy	VILLA	BET K25 120 mm		53		65	-2	-7	58
	JS-levy	VILLA	BET K25 190 mm		54		71	0	-5	66

Uusien rakenteiden ilmaääneneristyskyky

RAK. TYYPPI	Pintamateriaali	Eriste	Sisäkuori	Nro			R _w	C	C _{tr}	R _w + C _{tr}
7	JS-levy	SPU	BET K20 35 mm		55		55	-1	-4	51
	JS-levy	SPU	BET K20 80 mm		56		60	-1	-5	55
	JS-levy	SPU	BET K20 85 mm		57		61	-1	-5	56
	JS-levy	SPU	BET K20 100 mm		58		62	-2	-6	56
	JS-levy	SPU	BET K20 160 mm		59		67	-3	-8	59
	JS-levy	SPU	BET K25 40 mm		60		56	-2	-4	52
	JS-levy	SPU	BET K25 110 mm		61		62	-3	-7	55
	JS-levy	SPU	BET K25 120 mm		62		64	-3	-8	56
	JS-levy	SPU	BET K25 190 mm		63		70	-1	-6	64
8a	3-krs. rappaus	Isover	BET K20 35 mm		64		52	0	-2	50
	3-krs. rappaus	Isover	BET K20 80 mm		65		58	-1	-4	54
	3-krs. rappaus	Isover	BET K20 85 mm		66		58	-1	-4	54
	3-krs. rappaus	Isover	BET K20 100 mm		67		60	-1	-5	55
	3-krs. rappaus	Isover	BET K20 160 mm		68		65	-1	-5	60
	3-krs. rappaus	Isover	BET K25 40 mm		69		53	-1	-2	51
	3-krs. rappaus	Isover	BET K25 110 mm		70		61	-1	-5	56
	3-krs. rappaus	Isover	BET K25 120 mm		71		62	-1	-5	57
	3-krs. rappaus	Isover	BET K25 190 mm		72		68	-1	-5	63
8b	3-krs. rappaus	Paroc	BET K20 35 mm		73		52	0	-2	50
	3-krs. rappaus	Paroc	BET K20 80 mm		74		57	0	-3	54
	3-krs. rappaus	Paroc	BET K20 85 mm		75		58	-1	-4	54
	3-krs. rappaus	Paroc	BET K20 100 mm		76		60	-2	-5	55
	3-krs. rappaus	Paroc	BET K20 160 mm		77		65	-1	-5	60
	3-krs. rappaus	Paroc	BET K25 40 mm		78		53	-1	-2	51
	3-krs. rappaus	Paroc	BET K25 110 mm		79		61	-2	-5	56
	3-krs. rappaus	Paroc	BET K25 120 mm		80		62	-2	-5	57
	3-krs. rappaus	Paroc	BET K25 190 mm		81		68	-1	-5	63
9a	3-krs. rappaus	SPU+Isover	BET K20 35 mm		82		53	-1	-3	50
	3-krs. rappaus	SPU+Isover	BET K20 80 mm		83		58	-1	-4	54
	3-krs. rappaus	SPU+Isover	BET K20 85 mm		84		58	-1	-4	54
	3-krs. rappaus	SPU+Isover	BET K20 100 mm		85		60	-2	-5	55
	3-krs. rappaus	SPU+Isover	BET K20 160 mm		86		65	-2	-6	59
	3-krs. rappaus	SPU+Isover	BET K25 40 mm		87		53	-1	-2	51
	3-krs. rappaus	SPU+Isover	BET K25 110 mm		88		61	-2	-6	55
	3-krs. rappaus	SPU+Isover	BET K25 120 mm		89		62	-2	-6	56
	3-krs. rappaus	SPU+Isover	BET K25 190 mm		90		67	0	-4	63
9b	3-krs. rappaus	SPU+Paroc	BET K20 35 mm		91		52	0	-2	50
	3-krs. rappaus	SPU+Paroc	BET K20 80 mm		92		58	-2	-5	53
	3-krs. rappaus	SPU+Paroc	BET K20 85 mm		93		58	-1	-4	54
	3-krs. rappaus	SPU+Paroc	BET K20 100 mm		94		59	-1	-5	54
	3-krs. rappaus	SPU+Paroc	BET K20 160 mm		95		64	-1	-6	58
	3-krs. rappaus	SPU+Paroc	BET K25 40 mm		96		53	-1	-3	50
	3-krs. rappaus	SPU+Paroc	BET K25 110 mm		97		60	-2	-6	54
	3-krs. rappaus	SPU+Paroc	BET K25 120 mm		98		61	-2	-6	55
	3-krs. rappaus	SPU+Paroc	BET K25 190 mm		99		67	-1	-5	62
10a	ohutrappaus	Isover	BET K20 35 mm		100		45	-1	-3	42
	ohutrappaus	Isover	BET K20 80 mm		101		48	0	-4	44
	ohutrappaus	Isover	BET K20 85 mm		102		49	-1	-4	45
	ohutrappaus	Isover	BET K20 100 mm		103		50	-1	-5	45
	ohutrappaus	Isover	BET K20 160 mm		104		54	0	-5	49
	ohutrappaus	Isover	BET K25 40 mm		105		45	0	-3	42
	ohutrappaus	Isover	BET K25 110 mm		106		50	-1	-5	45
	ohutrappaus	Isover	BET K25 120 mm		107		51	-1	-5	46
	ohutrappaus	Isover	BET K25 190 mm		108		57	0	-4	53

Uusien rakenteiden ilmaääneneristyskyky

RAK. TYYPPI	Pintamateriaali	Eriste	Sisäkuori	Nro		R _w	C	C _{tr}	R _w + C _{tr}
10b	ohutrappaus	Paroc	BET K20 35 mm		109	45	-2	-6	39
	ohutrappaus	Paroc	BET K20 80 mm		110	47	-2	-6	41
	ohutrappaus	Paroc	BET K20 85 mm		111	47	-2	-6	41
	ohutrappaus	Paroc	BET K20 100 mm		112	48	-2	-7	41
	ohutrappaus	Paroc	BET K20 160 mm		113	53	-3	-8	45
	ohutrappaus	Paroc	BET K25 40 mm		114	45	-2	-5	40
	ohutrappaus	Paroc	BET K25 110 mm		115	49	-3	-8	41
	ohutrappaus	Paroc	BET K25 120 mm		116	50	-5	-10	40
	ohutrappaus	Paroc	BET K25 190 mm		117	56	-3	-8	48
11a	ohutrappaus	SPU+Isover	BET K20 35 mm		118	42	-1	-5	37
	ohutrappaus	SPU+Isover	BET K20 80 mm		119	45	-1	-6	39
	ohutrappaus	SPU+Isover	BET K20 85 mm		120	46	-2	-7	39
	ohutrappaus	SPU+Isover	BET K20 100 mm		121	47	-3	-7	40
	ohutrappaus	SPU+Isover	BET K20 160 mm		122	52	-3	-8	44
	ohutrappaus	SPU+Isover	BET K25 40 mm		123	42	-1	-4	38
	ohutrappaus	SPU+Isover	BET K25 110 mm		124	48	-4	-8	40
	ohutrappaus	SPU+Isover	BET K25 120 mm		125	49	-6	-11	38
	ohutrappaus	SPU+Isover	BET K25 190 mm		126	55	-3	-8	47
11b	ohutrappaus	SPU+Paroc	BET K20 35 mm		127	41	-1	-4	37
	ohutrappaus	SPU+Paroc	BET K20 80 mm		128	43	-4	-8	35
	ohutrappaus	SPU+Paroc	BET K20 85 mm		129	44	-6	-9	35
	ohutrappaus	SPU+Paroc	BET K20 100 mm		130	45	-3	-7	38
	ohutrappaus	SPU+Paroc	BET K20 160 mm		131	52	-3	-8	44
	ohutrappaus	SPU+Paroc	BET K25 40 mm		132	41	-1	-4	37
	ohutrappaus	SPU+Paroc	BET K25 110 mm		133	47	-4	-8	39
	ohutrappaus	SPU+Paroc	BET K25 120 mm		134	48	-3	-7	41
	ohutrappaus	SPU+Paroc	BET K25 190 mm		135	55	-3	-7	48

Liite 7

60-luvun rakenteet, pienin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

30 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		30 dB
	US1	9,8 m ²	47 dB	
	i18x16	2,9 m ²	31 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	3	7,9 m²		30 dB
	US1	3,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	
	4	24,0 m²		30 dB
	US1	10,4 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	5	51,9 m²		30 dB
	US1	16,7 m ²	47 dB	
	US2	11,0 m ²	51 dB	
	i15x14	2,1 m ²	30 dB	
	i18x16	2,9 m ²	30 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	7	7,7 m²		30 dB
	US1	3,4 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	8	12,8 m²		30 dB
	US1	7,1 m ²	47 dB	
	US2	8,7 m ²	51 dB	
	i15x14	2,1 m ²	32 dB	

Liite 7
60-luvun rakenteet, yleisin arvo
Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$
30 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		30 dB
	US1	9,8 m ²	47 dB	
	i18x16	2,9 m ²	31 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	3	7,9 m²		30 dB
	US1	3,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	
	4	24,0 m²		30 dB
	US1	10,4 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	5	51,9 m²		30 dB
	US1	16,7 m ²	47 dB	
	US2	11,0 m ²	54 dB	
	i15x14	2,1 m ²	30 dB	
	i18x16	2,9 m ²	30 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	7	7,7 m²		30 dB
	US1	3,4 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	8	12,8 m²		30 dB
	US1	7,1 m ²	47 dB	
	US2	8,7 m ²	54 dB	
	i15x14	2,1 m ²	32 dB	

Liite 7

70-luvun rakenteet, pienin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

30 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		30 dB
	US1	9,8 m ²	48 dB	
	i18x16	2,9 m ²	31 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	48 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	3	7,9 m²		30 dB
	US1	3,6 m ²	48 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	
	4	24,0 m²		30 dB
	US1	10,4 m ²	48 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	5	51,9 m²		30 dB
	US1	16,7 m ²	48 dB	
	US2	11,0 m ²	51 dB	
	i15x14	2,1 m ²	30 dB	
	i18x16	2,9 m ²	30 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	48 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	7	7,7 m²		30 dB
	US1	3,4 m ²	48 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	8	12,8 m²		30 dB
	US1	7,1 m ²	48 dB	
	US2	8,7 m ²	51 dB	
	i15x14	2,1 m ²	32 dB	

Liite 7

70-luvun rakenteet, yleisin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

30 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		30 dB
	US1	9,8 m ²	49 dB	
	i18x16	2,9 m ²	31 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	3	7,9 m²		30 dB
	US1	3,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	
	4	24,0 m²		30 dB
	US1	10,4 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	5	51,9 m²		30 dB
	US1	16,7 m ²	49 dB	
	US2	11,0 m ²	55 dB	
	i15x14	2,1 m ²	30 dB	
	i18x16	2,9 m ²	30 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	7	7,7 m²		30 dB
	US1	3,4 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	
	8	12,8 m²		30 dB
	US1	7,1 m ²	49 dB	
	US2	8,7 m ²	55 dB	
	i15x14	2,1 m ²	32 dB	

Liite 7

80-luvun rakenteet, pienin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

30 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		30 dB
	US1	9,8 m ²	49 dB	
	i18x16	2,9 m ²	30 dB	
	o09x21	1,9 m ²	37 dB	
	2	12,1 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	3	7,9 m²		30 dB
	US1	3,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	
	4	24,0 m²		30 dB
	US1	10,4 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	5	51,9 m²		30 dB
	US1	16,7 m ²	49 dB	
	US2	11,0 m ²	53 dB	
	i15x14	2,1 m ²	30 dB	
	i18x16	2,9 m ²	30 dB	
	o09x21	1,9 m ²	37 dB	
	6	10,0 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	7	7,7 m²		30 dB
	US1	3,4 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	
	8	12,8 m²		30 dB
	US1	7,1 m ²	49 dB	
	US2	8,7 m ²	53 dB	
	i15x14	2,1 m ²	32 dB	

Liite 7

80-luvun rakenteet, yleisin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

30 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		30 dB
	US1	9,8 m ²	50 dB	
	i18x16	2,9 m ²	30 dB	
	o09x21	1,9 m ²	37 dB	
	2	12,1 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	3	7,9 m²		30 dB
	US1	3,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	
	4	24,0 m²		30 dB
	US1	10,4 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	5	51,9 m²		30 dB
	US1	16,7 m ²	50 dB	
	US2	11,0 m ²	56 dB	
	i15x14	2,1 m ²	30 dB	
	i18x16	2,9 m ²	30 dB	
	o09x21	1,9 m ²	37 dB	
	6	10,0 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	7	7,7 m²		30 dB
	US1	3,4 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	
	8	12,8 m²		30 dB
	US1	7,1 m ²	50 dB	
	US2	8,7 m ²	56 dB	
	i15x14	2,1 m ²	32 dB	

Liite 7

60-luvun rakenteet, pienin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

32 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		32 dB
	US1	9,8 m ²	47 dB	
	i18x16	2,9 m ²	34 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	3	7,9 m²		32 dB
	US1	3,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	
	4	24,0 m²		32 dB
	US1	10,4 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	5	51,9 m²		32 dB
	US1	16,7 m ²	47 dB	
	US2	11,0 m ²	51 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	i18x16	2,9 m ²	33 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	36 dB	
	7	7,7 m²		32 dB
	US1	3,4 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	
	8	12,8 m²		32 dB
	US1	7,1 m ²	47 dB	
	US2	8,7 m ²	51 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	

Liite 7

60-luvun rakenteet, yleisin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

32 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		32 dB
	US1	9,8 m ²	47 dB	
	i18x16	2,9 m ²	34 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	3	7,9 m²		32 dB
	US1	3,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	
	4	24,0 m²		32 dB
	US1	10,4 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	5	51,9 m²		32 dB
	US1	16,7 m ²	47 dB	
	US2	11,0 m ²	54 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	i18x16	2,9 m ²	33 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	36 dB	
	7	7,7 m²		32 dB
	US1	3,4 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	
	8	12,8 m²		32 dB
	US1	7,1 m ²	47 dB	
	US2	8,7 m ²	54 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	

Liite 7

60-luvun rakenteet, suurin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

32 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		32 dB
	US1	9,8 m ²	49 dB	
	i18x16	2,9 m ²	33 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	3	7,9 m²		32 dB
	US1	3,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	36 dB	
	4	24,0 m²		32 dB
	US1	10,4 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	5	51,9 m²		32 dB
	US1	16,7 m ²	49 dB	
	US2	11,0 m ²	55 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	i18x16	2,9 m ²	33 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	7	7,7 m²		32 dB
	US1	3,4 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	
	8	12,8 m²		32 dB
	US1	7,1 m ²	49 dB	
	US2	8,7 m ²	55 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	

Liite 7

70-luvun rakenteet, pienin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

32 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		32 dB
	US1	9,8 m ²	48 dB	
	i18x16	2,9 m ²	33 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	48 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	3	7,9 m²		32 dB
	US1	3,6 m ²	48 dB	
	i15x14	2,1 m ²	36 dB	
	4	24,0 m²		32 dB
	US1	10,4 m ²	48 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	5	51,9 m²		32 dB
	US1	16,7 m ²	48 dB	
	US2	11,0 m ²	51 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	i18x16	2,9 m ²	33 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	48 dB	
	i15x14	2,1 m ²	36 dB	
	7	7,7 m²		32 dB
	US1	3,4 m ²	48 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	
	8	12,8 m²		32 dB
	US1	7,1 m ²	48 dB	
	US2	8,7 m ²	51 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	

Liite 7

70-luvun rakenteet, yleisin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

32 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		32 dB
	US1	9,8 m ²	49 dB	
	i18x16	2,9 m ²	33 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	3	7,9 m²		32 dB
	US1	3,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	36 dB	
	4	24,0 m²		32 dB
	US1	10,4 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	5	51,9 m²		32 dB
	US1	16,7 m ²	49 dB	
	US2	11,0 m ²	55 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	i18x16	2,9 m ²	33 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	7	7,7 m²		32 dB
	US1	3,4 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	
	8	12,8 m²		32 dB
	US1	7,1 m ²	49 dB	
	US2	8,7 m ²	55 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	

Liite 7

70-luvun rakenteet, suurin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

32 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		32 dB
	US1	9,8 m ²	50 dB	
	i18x16	2,9 m ²	33 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	3	7,9 m²		32 dB
	US1	3,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	36 dB	
	4	24,0 m²		32 dB
	US1	10,4 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	5	51,9 m²		32 dB
	US1	16,7 m ²	50 dB	
	US2	11,0 m ²	56 dB	
	i15x14	2,1 m ²	33 dB	
	i18x16	2,9 m ²	33 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	7	7,7 m²		32 dB
	US1	3,4 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	
	8	12,8 m²		32 dB
	US1	7,1 m ²	50 dB	
	US2	8,7 m ²	56 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	

Liite 7

80-luvun rakenteet, pienin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

32 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		32 dB
	US1	9,8 m ²	49 dB	
	i18x16	2,9 m ²	33 dB	
	o09x21	1,9 m ²	37 dB	
	2	12,1 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	3	7,9 m²		32 dB
	US1	3,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	36 dB	
	4	24,0 m²		32 dB
	US1	10,4 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	5	51,9 m²		32 dB
	US1	16,7 m ²	49 dB	
	US2	11,0 m ²	53 dB	
	i15x14	2,1 m ²	32 dB	
	i18x16	2,9 m ²	32 dB	
	o09x21	1,9 m ²	37 dB	
	6	10,0 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	7	7,7 m²		32 dB
	US1	3,4 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	
	8	12,8 m²		32 dB
	US1	7,1 m ²	49 dB	
	US2	8,7 m ²	53 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	

Liite 7

80-luvun rakenteet, yleisin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

32 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		32 dB
	US1	9,8 m ²	50 dB	
	i18x16	2,9 m ²	33 dB	
	o09x21	1,9 m ²	37 dB	
	2	12,1 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	3	7,9 m²		32 dB
	US1	3,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	36 dB	
	4	24,0 m²		32 dB
	US1	10,4 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	5	51,9 m²		32 dB
	US1	16,7 m ²	50 dB	
	US2	11,0 m ²	56 dB	
	i15x14	2,1 m ²	32 dB	
	i18x16	2,9 m ²	32 dB	
	o09x21	1,9 m ²	37 dB	
	6	10,0 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	7	7,7 m²		32 dB
	US1	3,4 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	
	8	12,8 m²		32 dB
	US1	7,1 m ²	50 dB	
	US2	8,7 m ²	56 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	

Liite 7

80-luvun rakenteet, suurin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

32 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		32 dB
	US1	9,8 m ²	52 dB	
	i18x16	2,9 m ²	33 dB	
	o09x21	1,9 m ²	37 dB	
	2	12,1 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	52 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	3	7,9 m²		32 dB
	US1	3,6 m ²	52 dB	
	i15x14	2,1 m ²	36 dB	
	4	24,0 m²		32 dB
	US1	10,4 m ²	52 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	5	51,9 m²		32 dB
	US1	16,7 m ²	52 dB	
	US2	11,0 m ²	58 dB	
	i15x14	2,1 m ²	32 dB	
	i18x16	2,9 m ²	32 dB	
	o09x21	1,9 m ²	37 dB	
	6	10,0 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	52 dB	
	i15x14	2,1 m ²	35 dB	
	7	7,7 m²		32 dB
	US1	3,4 m ²	52 dB	
	i15x14	2,1 m ²	36 dB	
	8	12,8 m²		32 dB
	US1	7,1 m ²	52 dB	
	US2	8,7 m ²	58 dB	
	i15x14	2,1 m ²	34 dB	

Liite 7

60-luvun rakenteet, yleisin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

35 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		35 dB
	US1	9,8 m ²	47 dB	
	i18x16	2,9 m ²	39 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	3	7,9 m²		35 dB
	US1	3,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	40 dB	
	4	24,0 m²		35 dB
	US1	10,4 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	5	51,9 m²		35 dB
	US1	16,7 m ²	47 dB	
	US2	11,0 m ²	54 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	
	i18x16	2,9 m ²	37 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	39 dB	
	7	7,7 m²		35 dB
	US1	3,4 m ²	47 dB	
	i15x14	2,1 m ²	40 dB	
	8	12,8 m²		35 dB
	US1	7,1 m ²	47 dB	
	US2	8,7 m ²	54 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	

Liite 7

60-luvun rakenteet, suurin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

35 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		35 dB
	US1	9,8 m ²	49 dB	
	i18x16	2,9 m ²	39 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	3	7,9 m²		35 dB
	US1	3,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	40 dB	
	4	24,0 m²		35 dB
	US1	10,4 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	5	51,9 m²		35 dB
	US1	16,7 m ²	49 dB	
	US2	11,0 m ²	55 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	
	i18x16	2,9 m ²	37 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	39 dB	
	7	7,7 m²		35 dB
	US1	3,4 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	40 dB	
	8	12,8 m²		35 dB
	US1	7,1 m ²	49 dB	
	US2	8,7 m ²	55 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	

Liite 7

70-luvun rakenteet, yleisin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

35 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		35 dB
	US1	9,8 m ²	49 dB	
	i18x16	2,9 m ²	39 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	3	7,9 m²		35 dB
	US1	3,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	40 dB	
	4	24,0 m²		35 dB
	US1	10,4 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	5	51,9 m²		35 dB
	US1	16,7 m ²	49 dB	
	US2	11,0 m ²	55 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	
	i18x16	2,9 m ²	37 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	39 dB	
	7	7,7 m²		35 dB
	US1	3,4 m ²	49 dB	
	i15x14	2,1 m ²	40 dB	
	8	12,8 m²		35 dB
	US1	7,1 m ²	49 dB	
	US2	8,7 m ²	55 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	

Liite 7

70-luvun rakenteet, suurin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

35 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		35 dB
	US1	9,8 m ²	50 dB	
	i18x16	2,9 m ²	39 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	3	7,9 m²		35 dB
	US1	3,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	40 dB	
	4	24,0 m²		35 dB
	US1	10,4 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	5	51,9 m²		35 dB
	US1	16,7 m ²	50 dB	
	US2	11,0 m ²	56 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	
	i18x16	2,9 m ²	37 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	39 dB	
	7	7,7 m²		35 dB
	US1	3,4 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	40 dB	
	8	12,8 m²		35 dB
	US1	7,1 m ²	50 dB	
	US2	8,7 m ²	56 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	

Liite 7

80-luvun rakenteet, yleisin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

35 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		35 dB
	US1	9,8 m ²	50 dB	
	i18x16	2,9 m ²	37 dB	
	o09x21	1,9 m ²	37 dB	
	2	12,1 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	3	7,9 m²		35 dB
	US1	3,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	40 dB	
	4	24,0 m²		35 dB
	US1	10,4 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	5	51,9 m²		35 dB
	US1	16,7 m ²	50 dB	
	US2	11,0 m ²	56 dB	
	i15x14	2,1 m ²	36 dB	
	i18x16	2,9 m ²	36 dB	
	o09x21	1,9 m ²	37 dB	
	6	10,0 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	39 dB	
	7	7,7 m²		35 dB
	US1	3,4 m ²	50 dB	
	i15x14	2,1 m ²	40 dB	
	8	12,8 m²		35 dB
	US1	7,1 m ²	50 dB	
	US2	8,7 m ²	56 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	

Liite 7

80-luvun rakenteet, suurin arvo

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

35 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		35 dB
	US1	9,8 m ²	52 dB	
	i18x16	2,9 m ²	37 dB	
	o09x21	1,9 m ²	37 dB	
	2	12,1 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	52 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	3	7,9 m²		35 dB
	US1	3,6 m ²	52 dB	
	i15x14	2,1 m ²	39 dB	
	4	24,0 m²		35 dB
	US1	10,4 m ²	52 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	5	51,9 m²		35 dB
	US1	16,7 m ²	52 dB	
	US2	11,0 m ²	58 dB	
	i15x14	2,1 m ²	36 dB	
	i18x16	2,9 m ²	36 dB	
	o09x21	1,9 m ²	37 dB	
	6	10,0 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	52 dB	
	i15x14	2,1 m ²	38 dB	
	7	7,7 m²		35 dB
	US1	3,4 m ²	52 dB	
	i15x14	2,1 m ²	40 dB	
	8	12,8 m²		35 dB
	US1	7,1 m ²	52 dB	
	US2	8,7 m ²	58 dB	
	i15x14	2,1 m ²	37 dB	

Liite 7

Vaatus, ikkunat 42 dB

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

30 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		30 dB
	US1	9,8 m ²	33 dB	
	i18x16	2,9 m ²	42 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	35 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	3	7,9 m²		30 dB
	US1	3,6 m ²	34 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	4	24,0 m²		30 dB
	US1	10,4 m ²	34 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	5	51,9 m²		30 dB
	US1	16,7 m ²	34 dB	
	US2	11,0 m ²	37 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	i18x16	2,9 m ²	42 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		31 dB
	US1	6,6 m ²	37 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	7	7,7 m²		30 dB
	US1	3,4 m ²	34 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	8	12,8 m²		30 dB
	US1	7,1 m ²	37 dB	
	US2	8,7 m ²	40 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	

Liite 7
Vaatimus, ikkunat 46 dB
Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$
30 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		30 dB
	US1	9,8 m ²	33 dB	
	i18x16	2,9 m ²	46 dB	
	o09x21	1,9 m ²	38 dB	
	2	12,1 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	35 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	3	7,9 m²		30 dB
	US1	3,6 m ²	34 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	4	24,0 m²		30 dB
	US1	10,4 m ²	34 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	5	51,9 m²		30 dB
	US1	16,7 m ²	33 dB	
	US2	11,0 m ²	37 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	i18x16	2,9 m ²	46 dB	
	o09x21	1,9 m ²	38 dB	
	6	10,0 m²		30 dB
	US1	6,6 m ²	35 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	7	7,7 m²		30 dB
	US1	3,4 m ²	34 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	8	12,8 m²		30 dB
	US1	7,1 m ²	36 dB	
	US2	8,7 m ²	40 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	

Liite 7

Vaatus, ikkunat 42 dB

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

32 dB

Asunto	Huonetila / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		32 dB
	US1	9,8 m ²	36 dB	
	i18x16	2,9 m ²	42 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	37 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	3	7,9 m²		32 dB
	US1	3,6 m ²	37 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	4	24,0 m²		32 dB
	US1	10,4 m ²	36 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	5	51,9 m²		32 dB
	US1	16,7 m ²	36 dB	
	US2	11,0 m ²	40 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	i18x16	2,9 m ²	42 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	38 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	7	7,7 m²		32 dB
	US1	3,4 m ²	37 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	8	12,8 m²		32 dB
	US1	7,1 m ²	39 dB	
	US2	8,7 m ²	42 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	

Liite 7

Vaatus, ikkunat 46 dB

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

32 dB

Asunto	Huoneti / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		32 dB
	US1	9,8 m ²	35 dB	
	i18x16	2,9 m ²	46 dB	
	o09x21	1,9 m ²	38 dB	
	2	12,1 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	37 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	3	7,9 m²		32 dB
	US1	3,6 m ²	36 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	4	24,0 m²		32 dB
	US1	10,4 m ²	36 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	5	51,9 m²		32 dB
	US1	16,7 m ²	35 dB	
	US2	11,0 m ²	40 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	i18x16	2,9 m ²	46 dB	
	o09x21	1,9 m ²	38 dB	
	6	10,0 m²		32 dB
	US1	6,6 m ²	38 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	7	7,7 m²		32 dB
	US1	3,4 m ²	36 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	8	12,8 m²		32 dB
	US1	7,1 m ²	38 dB	
	US2	8,7 m ²	42 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	

Liite 7

Vaatus, ikkunat 42 dB

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

35 dB

Asunto	Huoneti / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		35 dB
	US1	9,8 m ²	43 dB	
	i18x16	2,9 m ²	42 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	2	12,1 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	41 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	3	7,9 m²		35 dB
	US1	3,6 m ²	41 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	4	24,0 m²		35 dB
	US1	10,4 m ²	40 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	5	51,9 m²		35 dB
	US1	16,7 m ²	41 dB	
	US2	11,0 m ²	44 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	i18x16	2,9 m ²	42 dB	
	o09x21	1,9 m ²	35 dB	
	6	10,0 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	42 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	7	7,7 m²		35 dB
	US1	3,4 m ²	41 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	
	8	12,8 m²		35 dB
	US1	7,1 m ²	43 dB	
	US2	8,7 m ²	46 dB	
	i15x14	2,1 m ²	42 dB	

Liite 7

Vaatus, ikkunat 46 dB

Kaavamääräys $\Delta L_{A,vaad}$

35 dB

Asunto	Huoneti / rakennusosa	Pinta-ala	Rakennusosan $R_w + C_{tr}$	Äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$
	1	30,0 m²		35 dB
	US1	9,8 m ²	39 dB	
	i18x16	2,9 m ²	46 dB	
	o09x21	1,9 m ²	38 dB	
	2	12,1 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	40 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	3	7,9 m²		35 dB
	US1	3,6 m ²	39 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	4	24,0 m²		35 dB
	US1	10,4 m ²	39 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	5	51,9 m²		35 dB
	US1	16,7 m ²	39 dB	
	US2	11,0 m ²	42 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	i18x16	2,9 m ²	46 dB	
	o09x21	1,9 m ²	38 dB	
	6	10,0 m²		35 dB
	US1	6,6 m ²	41 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	7	7,7 m²		35 dB
	US1	3,4 m ²	39 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	
	8	12,8 m²		35 dB
	US1	7,1 m ²	41 dB	
	US2	8,7 m ²	46 dB	
	i15x14	2,1 m ²	46 dB	

Huoneistojen välisen ilmäeneristysluvun laskennassa käytetyt laskentatapaukset

Tapaus 1.

Erottavan rakenteen pinta-ala $S_s = 10,2 \text{ m}^2$

Rakennusosa	Pintamassa $m' \text{ [kg/m}^2\text{]}$	Huone 1	Huone 2	Reitti	Liitoseristävyys K [dB]	$l \text{ [m]}$	Reitin eristävyys $R'w$
Erottava rakennusosa:					-	-	
Betoni 180 mm	450	59	-	RDd,w			59
Sivuava rakenne 1:				RFf,w		2,5	
Ulkoseinä SW				RFd,w		2,5	
				RDf,w		2,5	
Sivuava rakenne 2:		61	61	RFf,w	10,0	4,1	74,9
Välipohja O265	380	61	59	RFd,w	8,7	4,1	72,7
		59	61	RDf,w	8,7	4,1	72,7
Sivuava rakenne 3:		38	38	RFf,w	35,1	2,5	79,2
Kevyt seinä	25	38	59	RFd,w	22,6	2,5	77,2
		59	38	RDf,w	22,6	2,5	77,2
Sivuava rakenne 4:		61	61	RFf,w	10,0	4,1	74,9
Välipohja O265	380	61	59	RFd,w	8,7	4,1	72,7
		59	61	RDf,w	8,7	4,1	72,7

Tapaus 2.

Erottavan rakenteen pinta-ala $S_s = 30 \text{ m}^2$

Rakennusosa	Pintamassa $m' \text{ [kg/m}^2\text{]}$	Huone 1	Huone 2	Reitti	Liitoseristävyys K [dB]	$l \text{ [m]}$	Reitin eristävyys $R'w$
Erottava rakennusosa:					-	-	
Välipohja O265	380	61	-	RDd,w			61
Sivuava rakenne 1:				RFf,w		5,8	
Ulkoseinä SW				RFd,w		5,8	
				RDf,w		5,8	
Sivuava rakenne 2:		59	59	RFf,w	7,5	4,1	75,1
Betoni 180 mm	450	59	61	RFd,w	8,7	4,1	77,4
		61	59	RDf,w	8,7	4,1	77,4
Sivuava rakenne 3:		38	38	RFf,w	33,6	7,6	77,6
Kevyt seinä	25	38	61	RFd,w	21,8	7,6	77,3
		61	38	RDf,w	21,8	7,6	77,3
Sivuava rakenne 4:		59	59	RFf,w	7,5	4,9	74,3
Betoni 180 mm	450	59	61	RFd,w	8,7	4,9	76,6
		61	59	RDf,w	8,7	4,9	76,6

Tapaus 3.

Erottavan rakenteen pinta-ala $S_s = 8,8 \text{ m}^2$

Rakennusosa	Pintamassa $m' \text{ [kg/m}^2\text{]}$	Huone 1	Huone 2	Reitti	Liitoseristävyys K [dB]	$l \text{ [m]}$	Reitin eristävyys $R'w$
Erottava rakennusosa:					-	-	
Betoni 180 mm	450	59	-	RDd,w			59
Sivuava rakenne 1:				RFf,w		2,5	74,8
Ulkoseinä SW				RFd,w		2,5	71,0
				RDf,w		2,5	71,0
Sivuava rakenne 2:		61	61	RFf,w	10,0	3,5	75,0
Välipohja O265	380	61	59	RFd,w	8,7	3,5	72,7
		59	61	RDf,w	8,7	3,5	72,7
Sivuava rakenne 3:		38	38	RFf,w	35,1	2,5	78,6
Kevyt seinä	25	38	59	RFd,w	22,6	2,5	76,5
		59	38	RDf,w	22,6	2,5	76,5
Sivuava rakenne 4:		61	61	RFf,w	10,0	3,5	75,0
Välipohja O265	380	61	59	RFd,w	8,7	3,5	72,7
		59	61	RDf,w	8,7	3,5	72,7

Huoneistojen välisen ilmäeneristysluvun laskennassa käytetyt laskentatapaukset

Tapaus 4.

Erottavan rakenteen pinta-ala $S_s = 10,2 \text{ m}^2$

Rakennusosa	Pintamassa $m' \text{ [kg/m}^2\text{]}$	Huone 1	Huone 2	Reitti	Liitoseristävyys K [dB]	$l \text{ [m]}$	Reitin eristävyys $R'w$
Erottava rakennusosa:					-	-	
Betoni 180 mm	450	59	-	RDd,w			59
Sivuava rakenne 1:				RFf,w		2,5	75,4
Ulkoseinä SW				RFd,w		2,5	71,6
				RDf,w		2,5	71,6
Sivuava rakenne 2:		61	61	RFf,w	10,0	4,1	74,9
Välipohja O265	380	61	59	RFd,w	8,7	4,1	72,7
		59	61	RDf,w	8,7	4,1	72,7
Sivuava rakenne 3:		38	38	RFf,w	35,1	2,5	79,2
Kevyt seinä	25	38	59	RFd,w	22,6	2,5	77,2
		59	38	RDf,w	22,6	2,5	77,2
Sivuava rakenne 4:		61	61	RFf,w	10,0	4,1	74,9
Välipohja O265	380	61	59	RFd,w	8,7	4,1	72,7
		59	61	RDf,w	8,7	4,1	72,7

Tapaus 5.

Erottavan rakenteen pinta-ala $S_s = 23,9 \text{ m}^2$

Rakennusosa	Pintamassa $m' \text{ [kg/m}^2\text{]}$	Huone 1	Huone 2	Reitti	Liitoseristävyys K [dB]	$l \text{ [m]}$	Reitin eristävyys $R'w$
Erottava rakennusosa:					-	-	
Välipohja O265	380	61	-	RDd,w			61
Sivuava rakenne 1:				RFf,w		5,8	74,3
Ulkoseinä SW				RFd,w		5,8	72,5
				RDf,w		5,8	72,5
Sivuava rakenne 2:		59	59	RFf,w	7,5	4,6	73,6
Betoni 180 mm	450	59	61	RFd,w	8,7	4,6	75,9
		61	59	RDf,w	8,7	4,6	75,9
Sivuava rakenne 3:		59	59	RFf,w	7,5	5,8	72,6
Betoni 180 mm	450	59	61	RFd,w	8,7	5,8	74,9
		61	59	RDf,w	8,7	5,8	74,9
Sivuava rakenne 4:		59	59	RFf,w	7,5	4,6	73,6
Betoni 180 mm	450	59	61	RFd,w	8,7	4,6	75,9
		61	59	RDf,w	8,7	4,6	75,9

Tapaus 6.

Erottavan rakenteen pinta-ala $S_s = 51,9 \text{ m}^2$

Rakennusosa	Pintamassa $m' \text{ [kg/m}^2\text{]}$	Huone 1	Huone 2	Reitti	Liitoseristävyys K [dB]	$l \text{ [m]}$	Reitin eristävyys $R'w$
Erottava rakennusosa:					-	-	
Välipohja O265	380	61	-	RDd,w			61
Sivuava rakenne 1:				RFf,w		9,4	75,5
Ulkoseinä SW				RFd,w		9,4	73,8
				RDf,w		9,4	73,8
Sivuava rakenne 2:		59	59	RFf,w	7,5	9,4	73,9
Betoni 180 mm	450	59	61	RFd,w	8,7	9,4	76,2
		61	59	RDf,w	8,7	9,4	76,2
Sivuava rakenne 3:		38	38	RFf,w	33,6	16,6	76,6
Kevyt seinä	25	38	61	RFd,w	21,8	16,6	76,3
		61	38	RDf,w	21,8	16,6	76,3
Sivuava rakenne 4:		59	59	RFf,w	4,7	4,4	74,4
Ulkoseinä SW K	450	59	61	RFd,w	5,7	4,4	76,4
		61	59	RDf,w	5,7	4,4	76,4

Huoneistojen välisen ilmaääneneristysluvun laskennassa käytetyt laskentatapaukset

Tapaus 7.

Erottavan rakenteen pinta-ala $S_s = 12,8 \text{ m}^2$

Rakennusosa	Pintamassa $m' \text{ [kg/m}^2\text{]}$	Huone 1	Huone 2	Reitti	Liitoseristävyys K $[\text{dB}]$	l [m]	Reitin eristävyys $R'w$
Erottava rakennusosa:					-	-	
Välipohja O265	380	61	-	RDd,w			61
Sivuava rakenne 1:				RFf,w		3,7	73,5
Ulkoseinä SW				RFd,w		3,7	71,7
				RDf,w		3,7	71,7
Sivuava rakenne 2:		38	38	RFf,w	33,6	3,7	77,0
kevyt seinä	25	38	61	RFd,w	21,8	3,7	76,7
		61	38	RDf,w	21,8	3,7	76,7
Sivuava rakenne 3:		38	38	RFf,w	33,6	3,5	77,3
Kevyt seinä	25	38	61	RFd,w	21,8	3,5	76,9
		61	38	RDf,w	21,8	3,5	76,9
Sivuava rakenne 4:		59	59	RFf,w	4,7	3,5	69,3
Ulkoseinä SW K	450	59	61	RFd,w	5,7	3,5	71,4
		61	59	RDf,w	5,7	3,5	71,4

Liite 9

Ilmaääneneristysluku R'_w

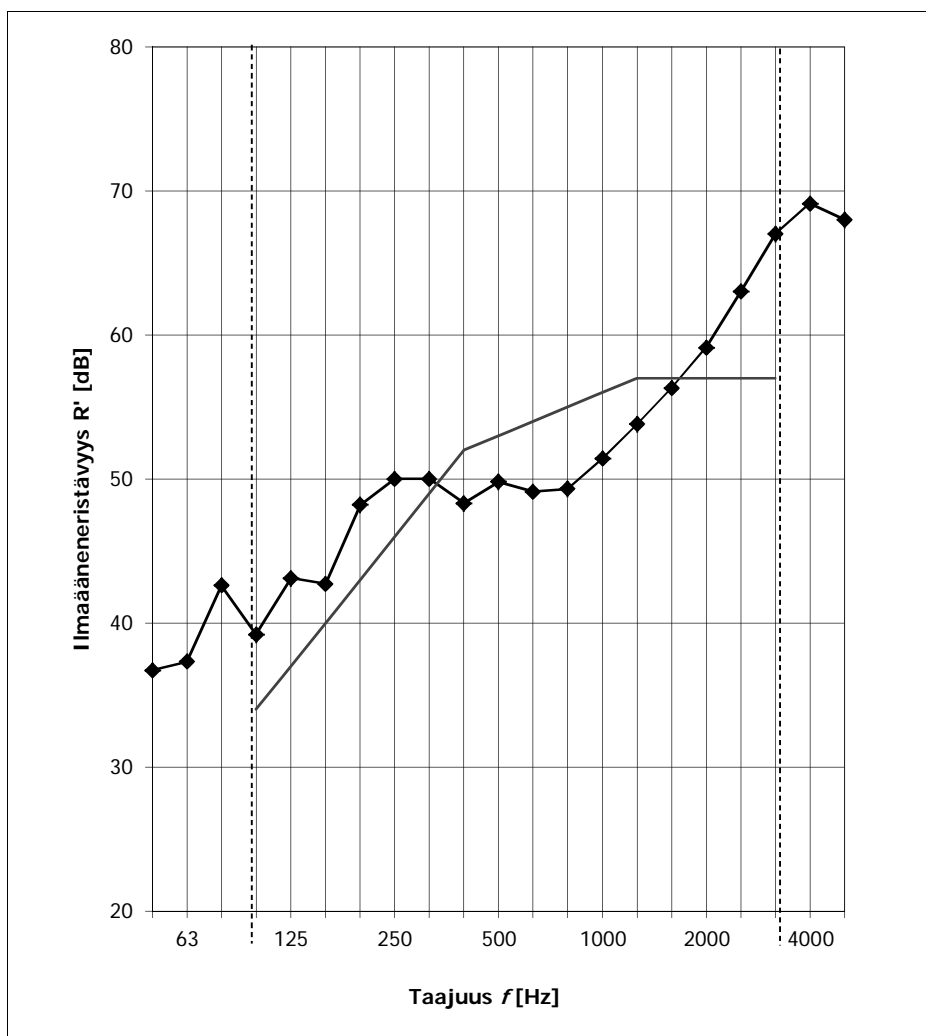
Mitattu kohde: As Oy Riiehenhirs
mistä: MH A5
mihin: MH A9
Erottava rakenne: Nilcon -laatta

Mittausaika: 29.3.2010
Mittaja: Tekn. yo Jaakko Koskinen
Mittaustapa: ISO 140-4

Erottavan rakenteen pinta-ala: $S = 12 \text{ m}^2$
Lähetysruoneen tilavuus: $V_L = 28,5 \text{ m}^3$
Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 29 \text{ m}^3$

f [Hz]	R' [dB]
50	36,7
63	37,3
80	42,6
100	39,2
125	43,1
160	42,7
200	48,2
250	50,0
315	50,0
400	48,3
500	49,8
630	49,1
800	49,3
1000	51,4
1250	53,8
1600	56,3
2000	59,1
2500	63,0
3150	67,0
4000	69,1
5000	68,0

—◆— Mittaus
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

Ilmaääneneristysluku R'_w (C ; C_{tr}): 53 (0 ; -3) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Liite 9

Ilmaääneneristysluku R'_w

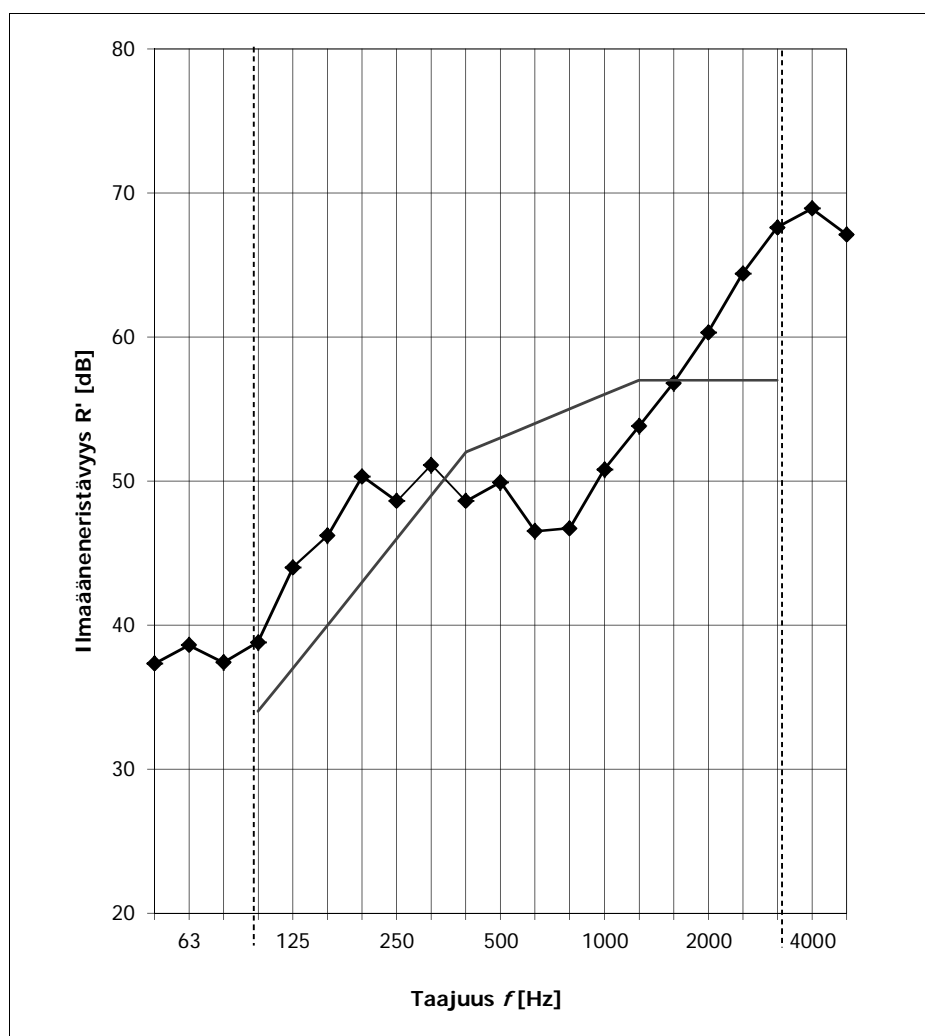
Mitattu kohde: As Oy Riiehenhirs
mistä: MH A5
mihin: MH A9
Erottava rakenne: Nilcon -laatta

Mittausaika: 29.4.2010
Mittaja: Tekn. yo Jaakko Koskinen
Mittaustapa: ISO 140-4

Erottavan rakenteen pinta-ala: $S = 12 \text{ m}^2$
Lähetysuoneen tilavuus: $V_L = 28,5 \text{ m}^3$
Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 29 \text{ m}^3$

f [Hz]	R' [dB]
50	37,3
63	38,6
80	37,4
100	38,8
125	44,0
160	46,2
200	50,3
250	48,6
315	51,1
400	48,6
500	49,9
630	46,5
800	46,7
1000	50,8
1250	53,8
1600	56,8
2000	60,3
2500	64,4
3150	67,6
4000	68,9
5000	67,1

—◆— Mittaus
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

Ilmaääneneristysluku R'_w (C ; C_{tr}): 53 (-1 ; -3) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Liite 9

Ilmaääneneristysluku R'_w

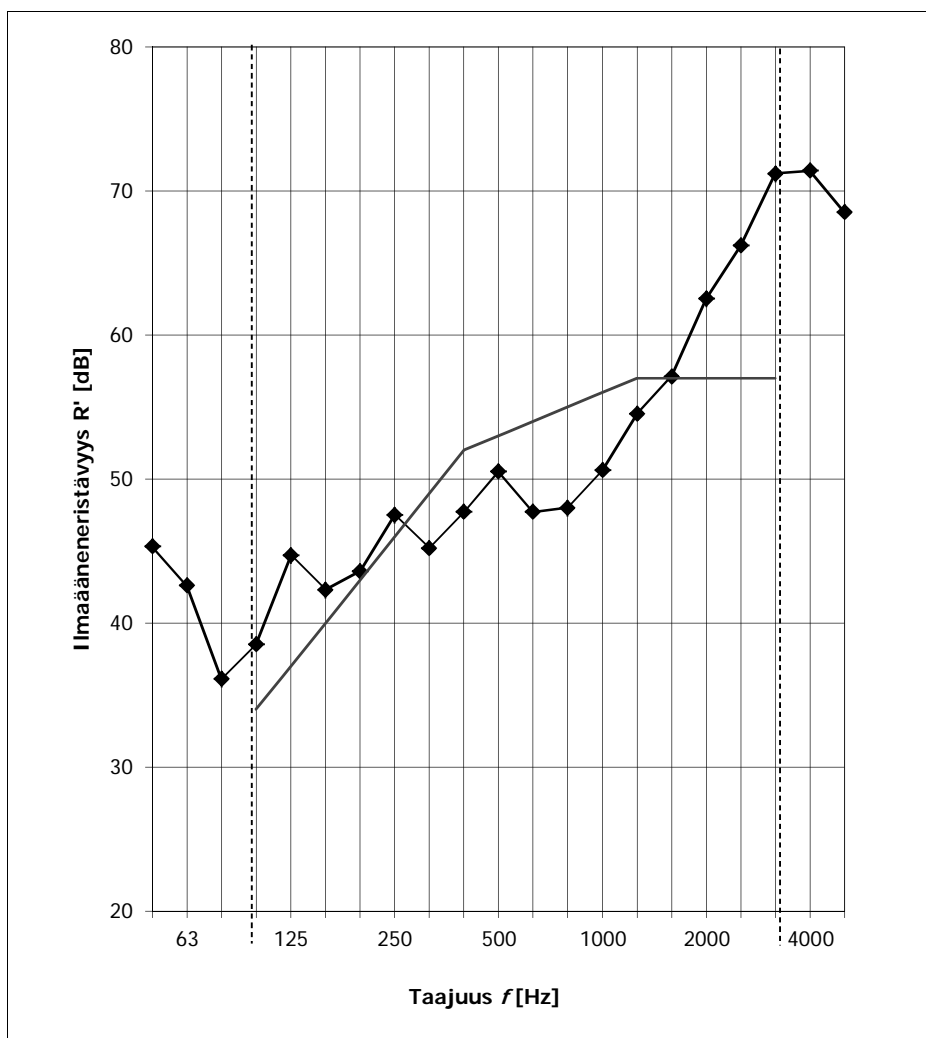
Mitattu kohde: As Oy Riiehenhirs
mistä: MH A6
mihin: MH A5
Erottava rakenne: 160 mm betoniväliseinä

Mittausaika: 29.3.2010
Mittaja: Tekn. yo Jaakko Koskinen
Mittaustapa: ISO 140-4

Erottavan rakenteen pinta-ala: $S = 10 \text{ m}^2$
Lähetysruoneen tilavuus: $V_L = 29 \text{ m}^3$
Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 28,5 \text{ m}^3$

f [Hz]	R' [dB]
50	45,3
63	42,6
80	36,1
100	38,5
125	44,7
160	42,3
200	43,6
250	47,5
315	45,2
400	47,7
500	50,5
630	47,7
800	48,0
1000	50,6
1250	54,5
1600	57,1
2000	62,5
2500	66,2
3150	71,2
4000	71,4
5000	68,5

—●— Mittaus
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

Ilmaääneneristysluku $R'_w (C; C_{tr})$: 53 (-1 ; -4) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Liite 9

Ilmaääneneristysluku R'_w

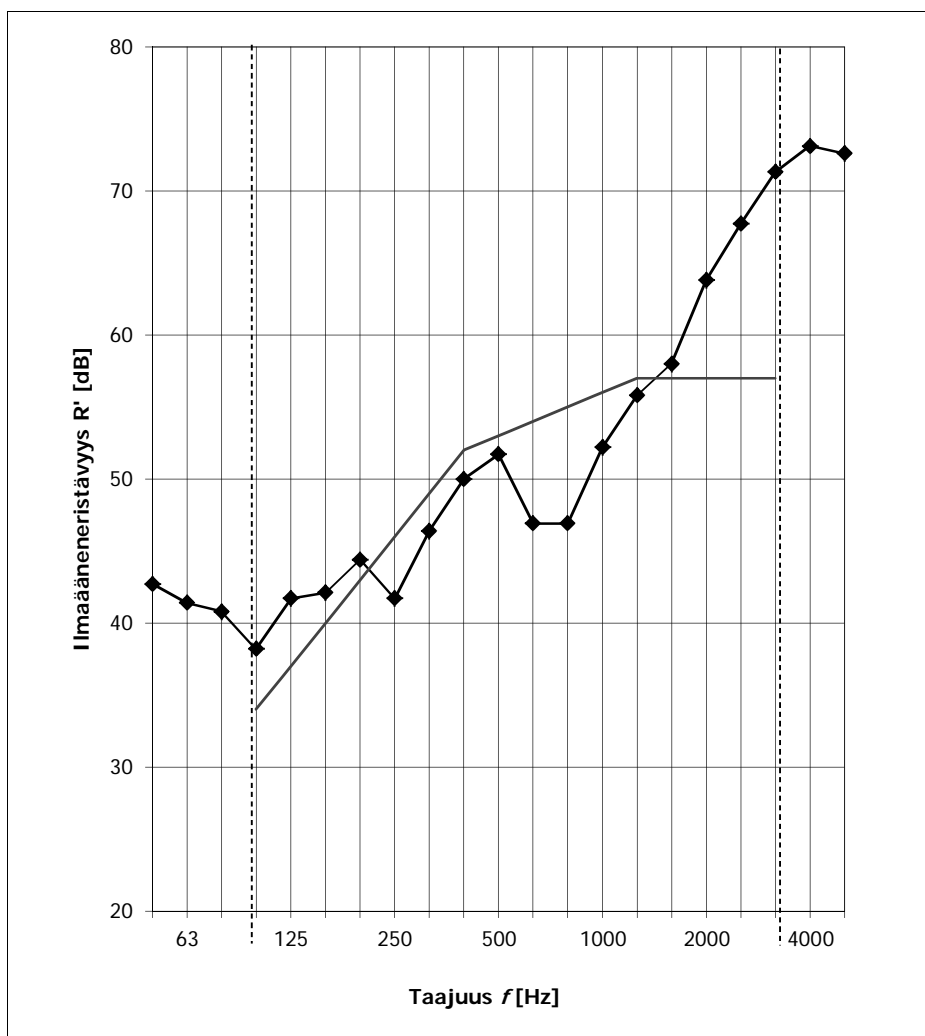
Mitattu kohde: As Oy Riiehenhirs
mistä: MH A6
mihin: MH A5
Erottava rakenne: 160 mm betoniväliseinä

Mittausaika: 29.4.2010
Mittaja: Tekn. yo Jaakko Koskinen
Mittaustapa: ISO 140-4

Erottavan rakenteen pinta-ala: $S = 10 \text{ m}^2$
Lähetysruoneen tilavuus: $V_L = 29 \text{ m}^3$
Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 28,5 \text{ m}^3$

f [Hz]	R' [dB]
50	42,7
63	41,4
80	40,8
100	38,2
125	41,7
160	42,1
200	44,4
250	41,7
315	46,4
400	50,0
500	51,7
630	46,9
800	46,9
1000	52,2
1250	55,8
1600	58,0
2000	63,8
2500	67,7
3150	71,3
4000	73,1
5000	72,6

—◆— Mittaus
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

Ilmaääneneristysluku $R'_w (C; C_{tr})$: 53 (-1 ; -4) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Liite 9

Ilmaääneneristysluku R'_w

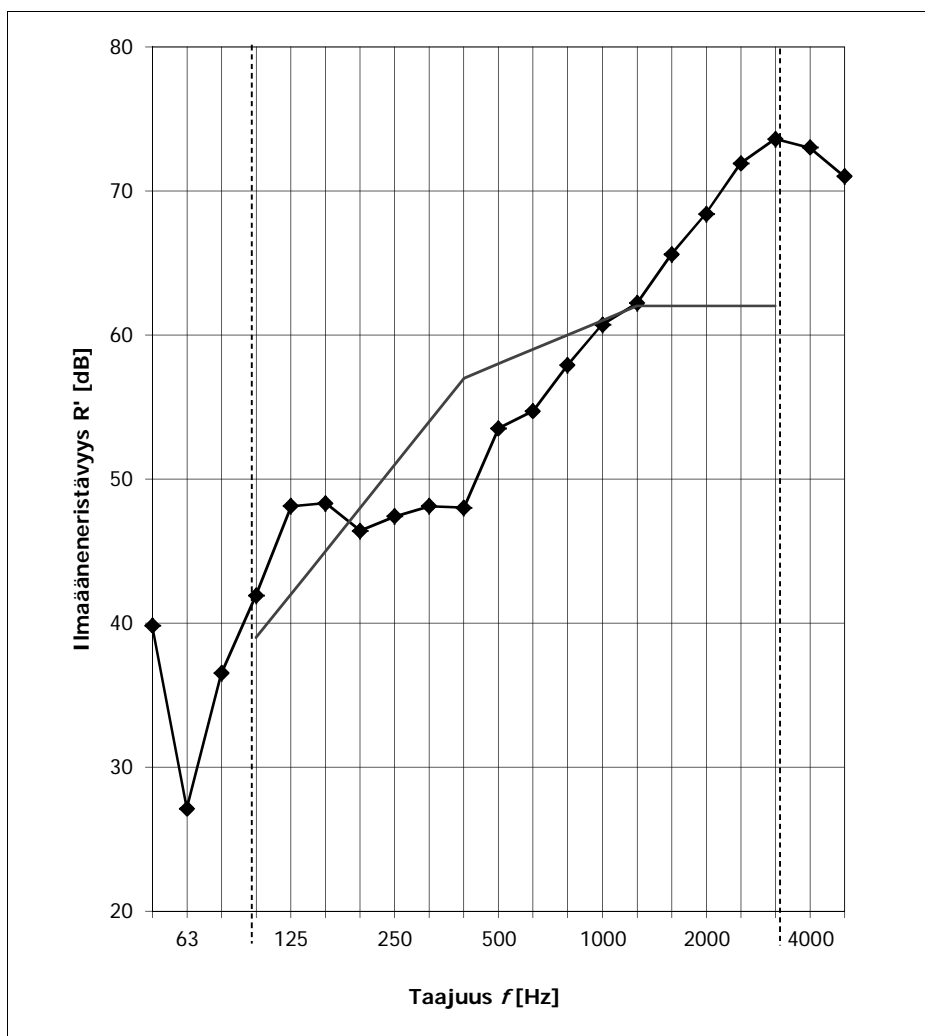
Mitattu kohde: Rastilantie 5
mistä: MH I 122
mihin: MH I 125
Erottava rakenne: Betoni välipohja

Mittausaika: 12.7.2010
Mittaja: Tekn. yo Jaakko Koskinen
Mittaustapa: ISO 140-4

Erottavan rakenteen pinta-ala: $S = 11,3 \text{ m}^2$
Lähetysruoneen tilavuus: $V_L = 29,5 \text{ m}^3$
Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 29,5 \text{ m}^3$

f [Hz]	R' [dB]
50	39,8
63	27,1
80	36,5
100	41,9
125	48,1
160	48,3
200	46,4
250	47,4
315	48,1
400	48,0
500	53,5
630	54,7
800	57,9
1000	60,7
1250	62,2
1600	65,6
2000	68,4
2500	71,9
3150	73,6
4000	73,0
5000	71,0

—◆— Mittaus
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

Ilmaääneneristysluku $R'_w (C; C_{tr})$: 58 (-1 ; -5) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Liite 9

Ilmaääneneristysluku R'_w

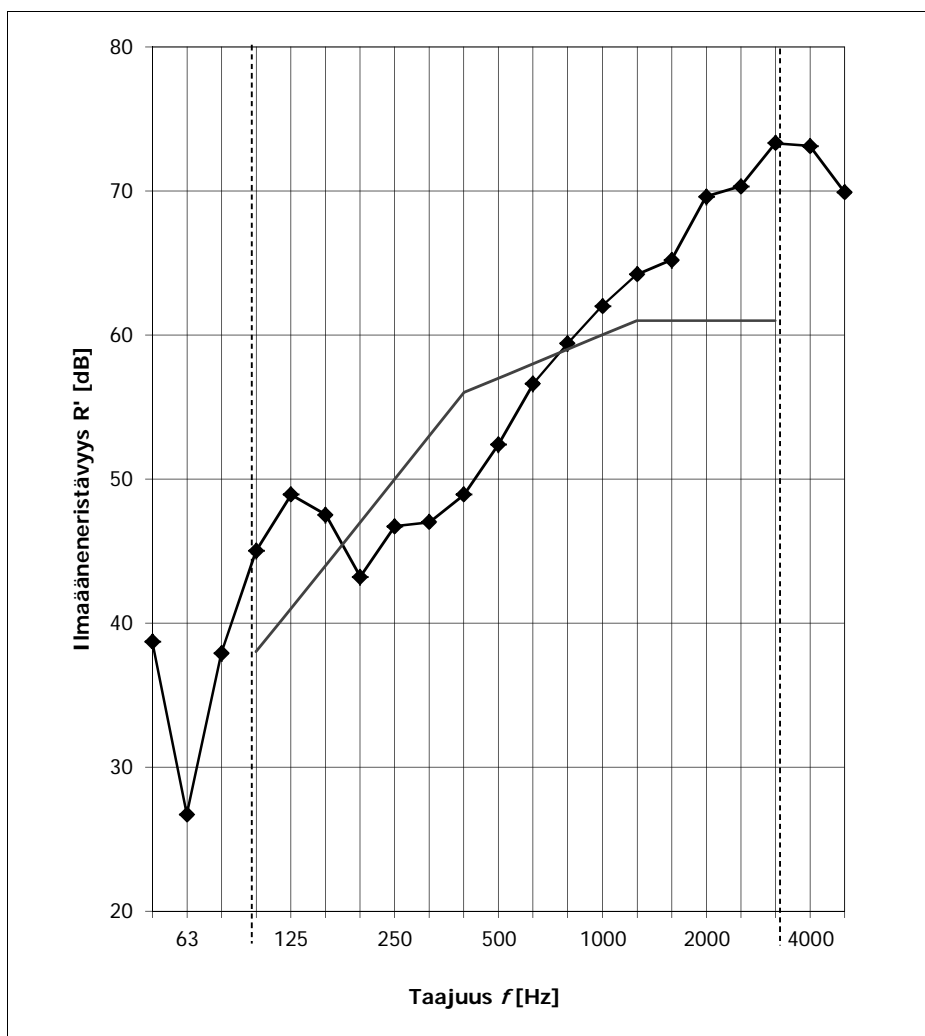
Mitattu kohde: Rastilantie 5
mistä: MH I 122
mihin: MH I 125
Erottava rakenne: Betoni välipohja

Mittausaika: 23.8.2010
Mittaaja: Tekn. yo Jaakko Koskinen
Mittaustapa: ISO 140-4

Erottavan rakenteen pinta-ala: $S = 11,3 \text{ m}^2$
Lähetysruoneen tilavuus: $V_L = 29,5 \text{ m}^3$
Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 29,5 \text{ m}^3$

f [Hz]	R' [dB]
50	38,7
63	26,7
80	37,9
100	45,0
125	48,9
160	47,5
200	43,2
250	46,7
315	47,0
400	48,9
500	52,4
630	56,6
800	59,4
1000	62,0
1250	64,2
1600	65,2
2000	69,6
2500	70,3
3150	73,3
4000	73,1
5000	69,9

—◆— Mittaus
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

Ilmaääneneristysluku R'_w (C ; C_{tr}): **57** (-1 ; -4) **dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Liite 9

Ilmaääneneristysluku R'_w

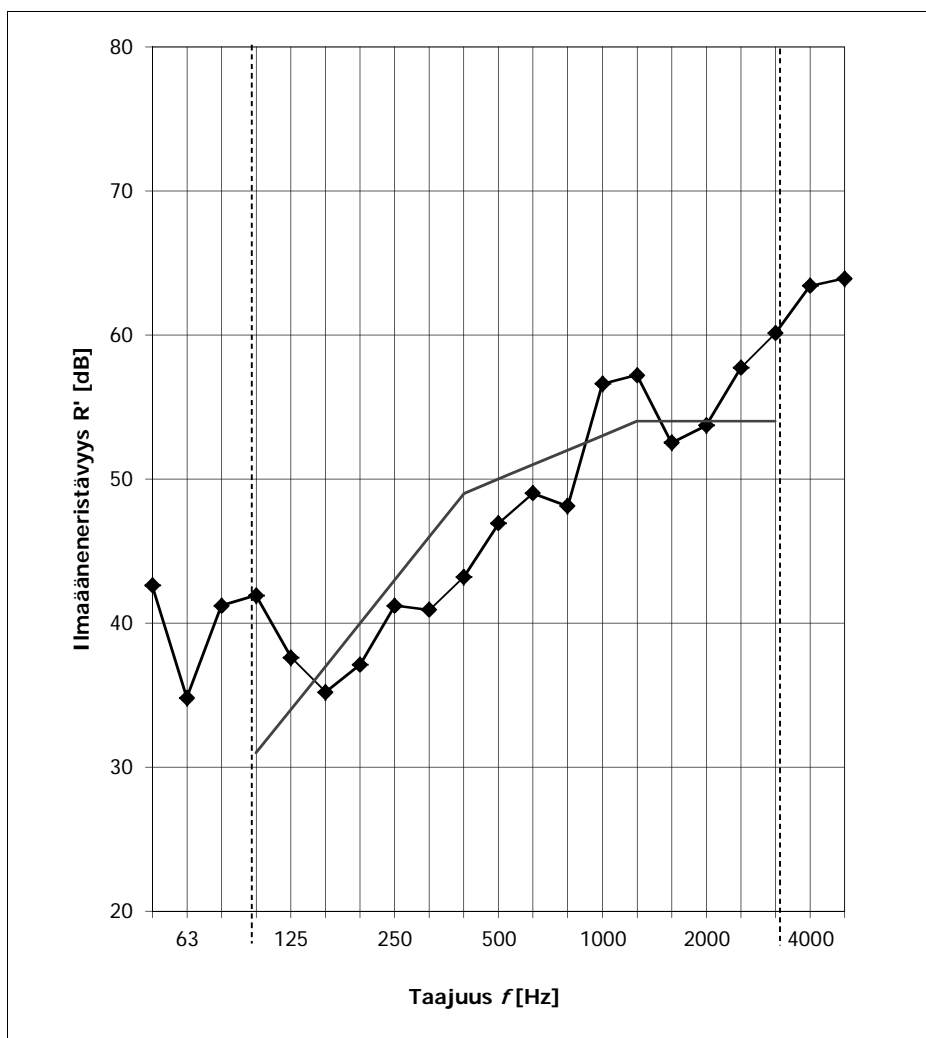
Mitattu kohde: As Oy Pirkkalanhovi
mistä: As 28 OH
mihin: As 31 OH
Erottava rakenne: Betoni välipohja

Mittausaika: 20.5.2010
Mittaja: Tekn. yo Jaakko Koskinen
Mittaustapa: ISO 140-4

Erottavan rakenteen pinta-ala: $S = 26,9 \text{ m}^2$
Lähetyshuoneen tilavuus: $V_L = 70 \text{ m}^3$
Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 70 \text{ m}^3$

f [Hz]	R' [dB]
50	42,6
63	34,8
80	41,2
100	41,9
125	37,6
160	35,2
200	37,1
250	41,2
315	40,9
400	43,2
500	46,9
630	49,0
800	48,1
1000	56,6
1250	57,2
1600	52,5
2000	53,7
2500	57,7
3150	60,1
4000	63,4
5000	63,9

—◆— Mittaus
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

Ilmaääneneristysluku $R'_w (C; C_{tr})$: 50 (-1 ; -4) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Liite 9

Ilmaääneneristysluku R'_w

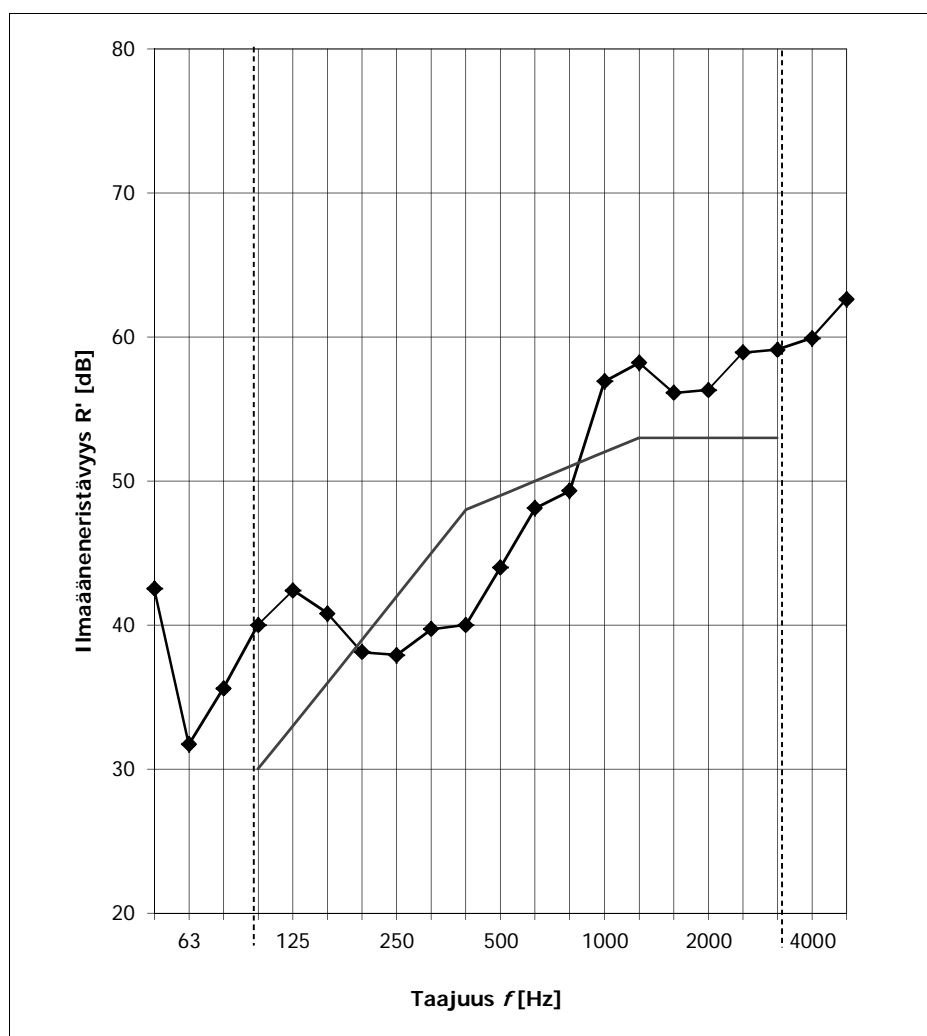
Mitattu kohde: As Oy Pirkkalanhovi
mistä: As 28 OH
mihin: As 31 OH
Erottava rakenne: Betoni välipohja

Mittausaika: 21.7.2010
Mittaja: Tekn. yo Jaakko Koskinen
Mittaustapa: ISO 140-4

Erottavan rakenteen pinta-ala: $S = 26,9 \text{ m}^2$
Lähetysuoneen tilavuus: $V_L = 70 \text{ m}^3$
Vastaanottohuoneen tilavuus: $V_V = 70 \text{ m}^3$

f [Hz]	R' [dB]
50	42,5
63	31,7
80	35,6
100	40,0
125	42,4
160	40,8
200	38,1
250	37,9
315	39,7
400	40,0
500	44,0
630	48,1
800	49,3
1000	56,9
1250	58,2
1600	56,1
2000	56,3
2500	58,9
3150	59,1
4000	59,9
5000	62,6

—◆— Mittaus
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

Ilmaääneneristysluku R'_w (C ; C_{tr}): **49** (-1 ; -3) **dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.